

SÉRIE A, N° 210  
N° d'ordre, 814

# THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

GUSTAVE PHILIPPON

**1<sup>re</sup> THÈSE.** — EFFETS PRODUITS SUR LES ANIMAUX, PAR LA COMPRESSION  
ET LA DÉCOMPRESSION.

**2<sup>e</sup> THÈSE.** — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 28 avril 1894, devant la Commission d'examen.

MM. G. BONNIER..... *Président.*

A. DASTRE..... }  
MUNIER-CHALMAS..... } *Examineurs.*

PARIS

ANCIENNE LIBRAIRIE GERMER BAILLIÈRE ET C<sup>ie</sup>

FÉLIX ALCAN, ÉDITEUR

408, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 408

—  
1894







SÉRIE A, N° 210  
N° d'ordre, 814

# THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

GUSTAVE PHILIPPON

1<sup>re</sup> THÈSE. — EFFETS PRODUITS SUR LES ANIMAUX, PAR LA COMPRESSION  
ET LA DÉCOMPRESSION.

2<sup>e</sup> THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 28 avril 1894, devant la Commission d'examen.

MM. G. BONNIER..... *Président.*

A. DASTRE..... }  
MUNIER-CHALMAS..... } *Examineurs.*



PARIS

ANCIENNE LIBRAIRIE GERMER BAILLIÈRE ET C<sup>ie</sup>

FÉLIX ALCAN, ÉDITEUR

108, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 108

—  
1894

# ACADÉMIE DE PARIS

## FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

|                               |                                                       |                                                                   |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
|                               | MM.                                                   |                                                                   |
| Doyen. . . . .                | G. DARBOUX, Professeur.                               | Géométrie supérieure.                                             |
| Professeurs honoraires.       | { PASTEUR.<br>DUCHARTRE.                              |                                                                   |
|                               | DE LACAZE-DUTHIERS. .                                 | Zoologie, Anatomie, Physiologie comparée.                         |
|                               | HERMITE. . . . .                                      | Algèbre supérieure.                                               |
|                               | TROOST. . . . .                                       | Chimie.                                                           |
|                               | FRIEDEL. . . . .                                      | Chimie organique.                                                 |
|                               | TISSERAND. . . . .                                    | Astronomie.                                                       |
|                               | LIPPMANN. . . . .                                     | Physique.                                                         |
|                               | HAUTEFEUILLE. . . . .                                 | Minéralogie.                                                      |
|                               | BOUTY. . . . .                                        | Physique.                                                         |
|                               | APPELL. . . . .                                       | Mécanique rationnelle.                                            |
|                               | DUCLAUX. . . . .                                      | Chimie biologique.                                                |
|                               | BOUSSINESQ. . . . .                                   | Mécanique physique et expérimentale.                              |
| Professeurs . . . . .         | PICARD. . . . .                                       | Calcul différentiel et calcul intégral.                           |
|                               | POINCARÉ. . . . .                                     | Calcul des probabilités, Physique mathématique.                   |
|                               | YVES DELAGE. . . . .                                  | Zoologie, Anatomie, Physiologie comparée.                         |
|                               | BONNIER. . . . .                                      | Botanique.                                                        |
|                               | DASTRE. . . . .                                       | Physiologie.                                                      |
|                               | DITTE. . . . .                                        | Chimie.                                                           |
|                               | MUNIER-CHALMAS. . . . .                               | Géologie.                                                         |
|                               | GIARD. . . . .                                        | Évolution des êtres organisés.                                    |
|                               | WOLF. . . . .                                         | Astronomie.                                                       |
| Professeurs adjoints. . . . . | { CHATIN. . . . .<br>JOLY. . . . .<br>PELLAT. . . . . | Zoologie, Anatomie, Physiologie comparée.<br>Chimie.<br>Physique. |
| Secrétaire. . . . .           | FOUSSEREAU. . . . .                                   |                                                                   |

A LA MÉMOIRE DE MON PÈRE

A LA MÉMOIRE DE PAUL BERT

A MON MAÎTRE

MONSIEUR LE D<sup>r</sup> PROFESSEUR N. GRÉHANT

PROFESSEUR DE PHYSIOLOGIE GÉNÉRALE AU MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE <sup>1</sup>

Témoignage de respectueuse reconnaissance.

---

J'adresse toute l'expression de ma profonde gratitude à M. le professeur A. DASTRE, de la Sorbonne, pour les indications scientifiques qu'il m'a données avec tant de bienveillance; à M. ARTHUS, préparateur du cours de physiologie expérimentale de la Faculté des sciences de Paris, et à M. le professeur REGNARD, pour leurs précieux renseignements bibliographiques.

Mes remerciements à M<sup>lle</sup> Marie MASSON, qui a si gracieusement collaboré à la traduction des mémoires étrangers.

Je remercie également M. l'éditeur MASSON, qui a mis très obligeamment à ma disposition, des clichés provenant de l'ouvrage *la Pression barométrique*; M. MANEUVRIER, sous-directeur du laboratoire des recherches de physique à la Sorbonne, qui m'a prêté les figures ayant servi à illustrer l'article qu'il m'a demandé, pour la *Science moderne*; M. DUCRÉTET, pour la communication du cliché provenant de l'ouvrage *la Vie dans les eaux*; M. MOREAU, de la maison Larousse, qui m'a prêté le cliché de la figure publiée dans la *Revue encyclopédique*, d'après la photographie que j'ai communiquée à l'Académie des sciences.

GUSTAVE PHILIPPON.

1. Ce travail a été exécuté au laboratoire de physiologie générale du Muséum d'histoire naturelle.

## TABLE DES MATIÈRES

---

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| DÉDICACE. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 1  |
| CHAPITRE I. — INTRODUCTION HISTORIQUE. — Point de départ de ces recherches. — Travaux antérieurs à Paul Bert. — Travaux de Paul Bert. — Travaux plus récents .....                                                                                                                                                                | 1  |
| CHAPITRE II. — APPAREILS EMPLOYÉS. — Appareil à décompression instantanée. — Appareil pour l'observation de petits animaux placés <i>in vitro</i> .....                                                                                                                                                                           | 43 |
| CHAPITRE III. — EFFETS DE LA COMPRESSION ET DE LA DÉCOMPRESSION BRUSQUE DANS L'AIR. — A. Expériences dans l'air ordinaire. — Effets de la compression et de la décompression sur les mammifères et les oiseaux. — B. Substitution du protoxyde d'azote à l'azote de l'air. — Effets mécaniques et toxiques de ce dernier gaz..... | 54 |
| CHAPITRE IV. — ACTION DE L'OXYGÈNE RESPIRÉ A HAUTE PRESSION. — Influence de la pureté de l'oxygène. — Expériences sur les animaux à sang chaud et sur les animaux à sang froid.....                                                                                                                                               | 75 |
| CHAPITRE V. — TOXICITÉ DE L'OXYGÈNE COMPRIMÉ. — Injection sous-cutanée de sucs fournis par le sang et les muscles d'animaux morts dans l'oxygène comprimé. — Action probable de la potasse. — Toxines douteuses.....                                                                                                              | 89 |
| CHAPITRE VI. — CONCLUSIONS.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 97 |

# EFFETS PRODUITS SUR LES ANIMAUX

PAR LA

## COMPRESSION ET LA DÉCOMPRESSION

---

### CHAPITRE PREMIER

#### INTRODUCTION HISTORIQUE

---

SOMMAIRE : *Point de départ de ces recherches. — Travaux antérieurs à Paul Bert. — Travaux de Paul Bert. — Travaux plus récents.*

§ 1. — Je n'ai pas eu la prétention de reprendre purement et simplement, en tout ou en partie, les travaux de Paul Bert sur la *Pression barométrique*, travaux pour l'accomplissement desquels l'illustre continuateur de Claude Bernard a peut-être concentré le plus d'efforts personnels, secondé dans cette tâche par des disciples, devenus tous des maîtres éminents.

L'idée des recherches que j'expose ici m'est pourtant venue après la lecture d'une page de la *Pression barométrique*, reproduite ci-après. Les accidents causés par l'action de l'oxygène ou de l'air suroxygéné sous pression y sont décrits, accidents que l'auteur dépeint, en les comparant, sans étendre ses recherches à ce sujet, à ceux que déterminent certains poisons tels que la strychnine et l'acide phénique.

Voici la citation; il s'agit de chiens qui ont séjourné, plus ou moins longtemps, dans l'appareil où ils avaient respiré de l'air suroxygéné :

« Arrivons à la description de l'attaque convulsive elle-même. Elle est vraiment curieuse et effrayante.

Prenons un cas de moyenne intensité : lorsqu'on retire l'animal de l'appareil, il est généralement en pleine convulsion tonique ; les quatre pattes sont roidies, le tronc est recourbé en arrière ou un peu sur les côtés, les yeux sont saillants, la pupille dilatée, les mâchoires serrées.

L'examen ophtalmoscopique montre une forte injection du fond de l'œil. Bientôt survient une sorte de relâchement auquel succède une nouvelle crise de roideurs avec convulsions cloniques ressemblant à la fois à une crise strychnique et à une attaque de tétanos. Ces crises, pendant les intervalles desquelles le chien ne se relâche pas complètement, mais reste en opisthotonos, respirant avec une grande difficulté, suspendent la respiration, le cœur continuant toujours à battre, quoique souvent avec une étonnante lenteur ; la pression artérielle s'abaisse considérablement. La sensibilité reste conservée, et l'on peut, en la mettant en jeu, exciter de nouvelles convulsions. Après quelque temps, ces périodes convulsives, qui apparaissaient d'abord toutes les cinq ou six minutes, deviennent plus rares, puis moins violentes ; la roideur diminue dans les intervalles, et finalement tout disparaît au bout de quelques minutes ou au plus de quelques heures.

Dans les cas plus légers, au lieu d'attaques tellement violentes qu'on peut soulever l'animal par une seule patte, roide comme un morceau de bois, ainsi que le montre la figure 61 (fig. 1), on observe des mouvements désordonnés, des convulsions locales, des phénomènes, en un mot, qui ressemblent beaucoup à ceux de l'empoisonnement par l'acide phénique. On voit parfois alors des actes qui semblent indiquer un certain désordre intellectuel.

Dans les cas très graves, au contraire, la roideur est continue avec quelques redoublements cloniques de temps à autre ; les dents grincent et se serrent jusqu'à paraître près de se briser et la mort peut survenir après une ou deux crises dans le laps de quelques minutes.

On trouve alors le sang rouge, même dans le système porte ; puis il noircit. Alors que l'animal ne fait plus aucun mouvement, le cœur continue à battre encore pendant quelques minutes.

D'autres fois, comme dans les expériences CCLXXVIII et CCXCVII, les convulsions durent près de vingt-quatre heures avant de se terminer par la mort.

On ne trouve ni congestions, ni ecchymoses dans les poumons

et dans les centres nerveux. Seulement, d'une manière constante, chez les moineaux, on voit le diploé cranien rempli d'un épanchement en piqueté, en taches plus ou moins grandes, ou même en nappe, envahissant toute la région occipitale, et, dans les cas les



Fig. 1. — Action de l'oxygène sous forte pression. Chien pendant les convulsions toniques (figure extraite de la *Pression barométrique*).

plus violents, toute l'étendue du crâne. Ces suffusions sanguines, dont le mécanisme ne me paraît point facile à expliquer, sont constantes dans l'empoisonnement par l'oxygène. Elles arrivent bien avant le moment de la mort. Mais elles ne sont pas spéciales à ce genre de mort, et dans les expériences qui précèdent on les

trouve signalées, même dans l'asphyxie simple, sans diminution de pression. (V. p. 748 et 749.)

La vue seule des symptômes que nous venons de décrire semble indiquer que l'action toxique produit son effet sur les centres nerveux, comme le font la strychnine, l'acide phénique et autres poisons convulsivants. Cette présomption est corroborée par ce fait que les inhalations de chloroforme arrêtent momentanément les convulsions, qui reparaissent quand a disparu l'anesthésie. Rappelons enfin que, d'après nos expériences sur les grenouilles, le membre postérieur dont on a coupé le nerf sciatique ne présente pas de convulsions dans les muscles animés par ce nerf.

Je puis donc reproduire ici, pour résumer tous ces faits, les conclusions de la note que j'ai eu l'honneur de présenter sur ce sujet à l'Académie des sciences, le 17 février 1873.

« 1° L'oxygène se comporte comme un poison rapidement mortel, lorsque sa quantité dans le sang artériel s'élève à environ 55 centimètres cubes par 100 centimètres cubes de liquide;

2° L'empoisonnement est caractérisé par des convulsions qui représentent, suivant l'intensité des accidents, les divers types du tétanos, de la strychnine, de l'acide phénique, de l'épilepsie, etc.;

3° Ces accidents, que calme le chloroforme, sont dus à l'exagération du pouvoir excito-moteur de la moelle épinière;

4° Ils s'accompagnent d'une diminution considérable et constante de la température interne. » (Pression barométrique, p. 799.)

Quelle est la nature de ce terrible empoisonnement par l'oxygène comprimé? Y a-t-il formation de produits toxiques dans les tissus? Peut-on révéler expérimentalement ces produits? Telles sont les premières questions qui se sont présentées à mon esprit.

Pour tenter de les résoudre, il fallait évidemment soumettre des animaux à l'action de l'oxygène comprimé, comparer les effets de l'oxygène mêlé d'azote, dans l'air, à ceux de l'oxygène pur, répéter, en un mot, des expériences déjà réalisées par Paul Bert et en effectuer de nouvelles.

Mais au laboratoire de Physiologie générale du Muséum où j'avais entrepris d'autres travaux, je n'avais à ma disposition ni le beau matériel donné par le Dr Jourdanet au laboratoire de Physiologie de la Sorbonne, ni les moyens de me procurer un matériel équivalent, je pensais d'ailleurs que pour les besoins assez restreints

de mes recherches il valait mieux me créer une technique plus simple que je ferai connaître au chapitre suivant.

L'étude préalable des appareils employés par Paul Bert m'ayant été tout d'abord nécessaire, je donnerai la description de ces appareils et de leurs usages après avoir également retracé l'historique des questions auxquelles je me suis spécialement attaché dans mon travail.

Les recherches antérieures à la publication de la *Fression barométrique* ont été nombreuses, mais en rendre compte longuement ici consisterait à reproduire les chapitres de l'ouvrage où Paul Bert les a magistralement énumérées; je rapporterai surtout à ce sujet les critiques de cet auteur sur les travaux de ses précurseurs.

J'exposerai ensuite les résultats obtenus par Paul Bert et enfin ceux des physiologistes français ou étrangers qui ont été établis après les siens.

### Avant Paul Bert.

A. § 2. *Compression*. — Pendant la compression la trompe d'Eustache étant obstruée, l'air ne peut pas pénétrer dans la caisse du tympan <sup>1</sup>. La membrane tympanique est distendue, ce qui explique les *douleurs d'oreilles*, cette membrane peut même se rompre, — accident survenu à M. Cizanne au pont de Schedezin.

La *voix* est modifiée, elle hausse de ton (Vivenot) <sup>2</sup>, devient nasillarde (Triger), l'acte de siffler devient impossible à partir de 3 atmosphères (Triger), l'acte de parler exige un effort notable (Pol et Watelle) <sup>3</sup>. Ces derniers efforts sont dus à la densité plus grande de l'air.

La *capacité respiratoire* maxima augmente; en effet, le diaphragme et la base du poumon s'abaissant, la *respiration* s'accomplit avec une certaine dilatation du thorax. La fréquence des mouvements respiratoires diminue, tandis que leur amplitude augmente, mais il passerait, dans le même temps, à travers le poumon, un

1. Junod, *Archives générales de médecine*, 2<sup>e</sup> série, t. IX, p. 157-172, 1835.

2. Résumé des travaux de Vivenot, *Zur Kenntniss der physiologischen Wirkungen und der therapeutischen Anwendung der verdichteten Luft*, Etrangen, 1868.

3. Mémoire sur les effets de la compression de l'air appliquée au creusement des puits à houille (*Ann. d'hygiène publique et de médecine légale*, 2<sup>e</sup> série, t. I, p. 241-279, 1834).

volume d'air moindre sous pression, que dans l'air ordinaire (Vivenot et Panum) <sup>1</sup>.

Le nombre des *battements du cœur* diminue rapidement dans l'air comprimé (Pol et Watelle), bien que le contraire ait été affirmé par M. Bucquoy <sup>2</sup>, et les tracés du poulx, dans ces circonstances, offrent tous les caractères de la tension artérielle exagérée (Vivenot).

Depuis longtemps les médecins ont signalé, pendant la compression employée comme moyen thérapeutique, *la pâleur des muqueuses*, manifeste surtout quand ces muqueuses sont le siège d'inflammations.

Le *sang* présente une rutilance extraordinaire, au point que le sang veineux a celle du sang artériel normal. Ce fait a été surtout remarqué chez les ouvriers tubistes, chez lesquels la rutilance sanguine persiste longtemps après leur sortie des tubes (Vivenot).

L'*élimination urinaire* est fortement exagérée, du moins en ce qui concerne la quantité de liquide excrété.

La compression répétée produit-elle l'augmentation ou la diminution du poids total du corps, l'engraissement ou l'amaigrissement? Les ouvriers tubistes maigrissent, tandis que les malades qui se soumettent régulièrement à l'action d'une faible compression, par mesure thérapeutique, engraisent. Mais ces deux catégories de personnes ne sont pas des termes comparables, les conditions de leur vie ordinaire étant très différentes; de plus, les ouvriers tubistes supportent de hautes pressions, pendant de longues heures, tandis que, comme médication, l'air est respiré sous pression très faible et à dose modérée.

L'action de l'air comprimé sur le *système nerveux général* paraît être très diverse suivant les individus.

Pour l'un, elle se traduit par une excitabilité ressemblant à l'ivresse (Colladon). Pour un autre, « les fonctions de l'encéphale sont activées » (Junod). M. Foley <sup>3</sup>, à sa sortie des appareils à air comprimé, se surprend « en flagrant délit de bavardage, en dépit de tous ses efforts ». M. G. Lange <sup>4</sup>, collaborateur de Vivenot dont il partage les idées, « éprouve une élasticité et une fraîcheur d'esprit

1. Panum, *Untersuchungen über die physiologischen Wirkungen der comprimierten Luft* (*Pflüger's Archiv Physiologie*, t. I, p. 125-165, 1868).

2. Bucquoy, *De l'air comprimé*, thèse de Strasbourg, 1861.

3. Foley, *Du travail dans l'air comprimé*, Paris, 1863.

4. G. Lange, *Mittheilungen über die physiologischen Wirkungen und therapeutische Bedeutung der comprimierten Luft*, Viesbaden, 1865.

qui n'existait pas auparavant » ; tandis que le docteur François dit qu'on ressent au début une légère somnolence ; enfin G. Lange éprouve un sentiment de calme auquel succède généralement une tendance au sommeil.

§ 3. *Explications théoriques.* — Tels sont les effets de l'air comprimé d'après les prédécesseurs de Paul Bert ; voici maintenant les explications de ces troubles qui ont été proposées également avant lui, ainsi que les critiques opposées par l'auteur de la *Pression barométrique*.

« Dès qu'on entre dans les tubes, dit M. Foley, on est aplati. » Cette formule exprime l'erreur longtemps commise par un grand nombre d'auteurs qui ont parlé de l'écrasement auquel sont soumis les hommes qui travaillent sous plusieurs atmosphères de pression. De même que l'air raréfié fait ventouse pour attirer le sang vers la périphérie du corps, de même, par une action inverse, dans l'air comprimé, le fluide nourricier serait refoulé dans les régions profondes de l'organisme, ce qui explique la pâleur de la peau et en particulier des muqueuses, pendant la compression (Pravaz <sup>1</sup>, Bucquoy, Vivenot, etc.).

L'incompressibilité des liquides oppose le démenti le plus formel à de pareilles conceptions (P. Bert), qui ont pu être défendues seulement en en imaginant d'autres, telles que celle de la décroissance de pression, de la peau aux tissus profonds (Bucquoy).

P. Bert consacre une mention spéciale à la théorie de M. Bouchard <sup>2</sup>, qui du moins a l'intérêt tout particulier d'être compatible avec les lois de la statique : pendant la compression les gaz intestinaux diminuent de volume, mais, en vertu de son élasticité, la paroi abdominale tendrait à se redresser, exerçant une sorte de succion sur les viscères abdominaux et par conséquent y appelant le sang, d'où congestions internes et anémie externe. A cette théorie P. Bert répond que l'élasticité de la paroi abdominale est insuffisante à produire de semblables efforts, que le diaphragme est également porté en dedans et qu'en même temps le diamètre thoracique s'agrandit.

En ce qui concerne la modification des amplitudes respiratoires et du rythme des mouvements thoraciques, le maître réfute l'idée de

1. Pravaz, *Mémoire sur l'emploi de la compression au moyen de l'air condensé dans les hydarthroses*, Lyon, 1843.

2. Bouchard, *De la Pathogénie des hémorrhagies*, 1869.

Pravaz que l'air comprimé est favorable à l'expansion pulmonaire en combattant plus énergiquement la réaction élastique des tissus. Il admet davantage, sur ce point, l'intervention des gaz intestinaux, sur lesquels agit directement la pression de l'air. Quand la pression diminue, le volume de ces gaz ne peut augmenter, parce qu'ils trouvent une issue facile par les deux orifices du tube intestinal. Quand la pression augmente, au contraire, le volume de ces gaz diminue indéfiniment en se soumettant à la loi de Mariotte. « Des ouvriers tubistes, que j'ai interrogés, m'ont avoué qu'ils étaient obligés, une fois dans les tubes, de resserrer la boucle de leur pantalon, à cause de la rétraction du ventre » (P. Bert).

Mais ce dernier auteur repousse l'interprétation de Pravaz, à propos de ce dernier fait, « à savoir que l'élasticité augmentée de ces gaz gêne l'action du diaphragme, diminue la dilatation thoracique dans le sens vertical, mais augmente l'expansion de la poitrine dans les deux autres directions ». Vivenot, en effet, par l'auscultation et par la percussion dans l'air comprimé a prouvé que le poumon descend plus bas qu'à l'état normal.

Je n'insiste pas, dans cet historique, sur les explications d'ordre chimique, n'ayant pas poussé mes recherches dans cette voie. La rutilance exagérée du sang, dans l'air comprimé, prouve bien la suroxydation des tissus. Quant à l'excès d'oxygène qui reste dissous, il ressort de mon travail que je ne l'ai pas retrouvé, à l'état de bulles libres, après une décompression brusque dans l'oxygène pur. Il est vrai que, dans mes expériences sur les animaux de taille moyenne, je n'ai jamais été au delà de 8 atmosphères.

B. § 4. *Décompression*. — Les effets de la décompression dépendent de deux facteurs. Ils sont proportionnels au degré de la pression atteinte et à la rapidité de la décompression.

Chez les ouvriers appelés à travailler sous pression, tubistes ou plongeurs, aucun accident consécutif ne se manifeste au-dessous de 2 atmosphères. Au-dessus apparaissent les démangeaisons qu'ils appellent *puces*, pouvant devenir douloureuses, accompagnées de douleurs articulaires, plus prononcées chez ceux qui ont le plus travaillé (Foley) pendant leur séjour dans l'air comprimé.

Au-dessus de 3 atmosphères les conséquences sont encore plus graves : troubles sensoriels, troubles de la sensibilité et de la locomotion, paralysies intéressant plus souvent les membres inférieurs

que les membres thoraciques, vertiges, perte de connaissance, parfois mort subite.

De ces troubles, les uns, les plus légers, les douleurs cutanées, par exemple, disparaissent assez promptement, les autres, les plus graves, comme la paraplégie, sont persistants et n'ont parfois pas guéri, avec le temps.

La résistance individuelle joue un grand rôle et tel sujet ayant résisté plusieurs années, sans qu'aucune explication bien claire puisse intervenir, est tout à coup victime des suites des décompressions auxquelles il a été successivement soumis.

« Ce qui fait la singularité du cas présent, c'est qu'on a imaginé, pour expliquer ces accidents, et avec raison, nous le démontrerons, une cause purement physique, et que la physique devrait être égale pour tous. » (P. Bert, *Pression barométrique*, historique, p. 513.)

Les différents observateurs sont d'accord sur un point, c'est que plus la compression dure, plus les accidents dus à la décompression sont redoutables et, bien avant d'appuyer leur opinion sur des faits d'expérience, tous ont recommandé de pratiquer la décompression lente, malgré le froid résultant de la sortie de l'air comprimé.

§ 5. *Explications théoriques.* — Les congestions et les accidents hémorragiques dont les ouvriers tubistes sont victimes avaient depuis longtemps frappé les médecins.

Pol et Watelle pensaient que les congestions se produisaient pendant la compression, par le fait du refoulement centripète du sang, mais que le sang suroxygéné ne pouvait plus dans ces circonstances exercer d'action fâcheuse. Au moment de la décompression, au contraire, le sang se désoxygénant les conséquences habituelles de la congestion se manifestent. Paul Bert demande à ces auteurs comment leur théorie s'accorde, avec le cas qu'ils ont constaté eux-mêmes de la coexistence des accidents les plus graves avec la rutilance du sang veineux.

Je passe sous silence les opinions de M. Foley, Babington et Cuthbert <sup>1</sup>, auxquelles Paul Bert trouve trop de confusion pour s'y arrêter, puisque je rappelle plus particulièrement dans ce paragraphe les critiques de P. Bert lui-même.

M. Bouchard, dont nous avons exposé les opinions sur le rôle des

1. Babington et Cuthbert, *Paralysis caused*. 1863.

gaz intestinaux dans la compression, est l'objet de plus d'attention. D'après ce savant, « ce serait la soudaine dilatation des gaz intestinaux, primitivement comprimés, qui chasserait tout d'un coup le sang contenu dans les viscères abdominaux, le refoulerait dans la circulation générale, et amènerait les congestions et les hémorragies dans les organes nerveux. J'avoue que je ne puis admettre qu'une expansion gazeuse dans un canal ouvert à ses deux extrémités, puisse en présence de parois aussi facilement extensibles que le diaphragme et les muscles abdominaux, expulser le sang du foie, de la rate, etc., avec assez de violence pour produire de pareils désordres » (*Pression barométrique*, p. 521).

L'idée première, qu'à une dépression brusque du milieu ambiant correspond un dégagement de gaz libres dans le sang, paraît appartenir à Robert Boyle <sup>1</sup> et les premières expériences ayant quelque valeur sur ce sujet sont dues à Hoppe-Seyler <sup>2</sup> qui les a publiées en 1857, mais ces expériences n'ont été connues de Paul Bert qu'au moment où son travail sur la pression barométrique allait paraître.

Voici en quels termes le savant physiologiste français raconte et commente les expériences de Hoppe :

« Le travail de ce chimiste est d'ordre purement expérimental, il a été entrepris dans le but d'expliquer les accidents qui frappent les ouvriers dans les travaux sous l'air comprimé; et comme tout le monde a remarqué que ces accidents surviennent au moment de la décompression, Hoppe espérait en trouver la cause par l'étude de la mort dans l'air raréfié. Voici le résumé de ses expériences :

« Une ratte fut soumise à une rapide diminution de pression. Vers 50 millimètres de mercure, survinrent les convulsions, et la mort entre 40 et 50 millimètres.

A l'ouverture du thorax, on voyait à travers les parois de la veine cave de l'oreillette et du ventricule droits, une notable quantité de gaz qu'on put faire sortir par une ponction.

Chez un chat qui mourut vers 40 millimètres, je trouvai environ 0,3 centimètres cubes d'air dans la veine cave et les cavités droites du cœur; il y avait quelques bulles d'air dans l'oreillette gauche. Les veines et le

1. Boyle, R., *New Pneumatical experiments about Respiration*. *Philosoph. Transact.*, p. 2041-2058, 1670. Extrait et traduit. *Collect. Acad.*, partie étrangère, t. VI, p. 23-59; 1761.

2. *Ueber den Einfluss, welchen der Wechsel der Luftdruckes auf das Blut ansübt* Müllers Archiv, 1857, p. 63-73.

cœur droit étaient pleins de sang, le cœur gauche presque vide; le sang était complètement liquide, les artères se contractaient spontanément, les ventricules seulement sous l'excitation; les poumons étaient vides d'air et sains; il n'y avait pas de rupture de vaisseaux; le cerveau était normal.

Deux hirondelles sont mortes entre 125 et 120 millimètres de pression, j'ai trouvé dans leur sang quelques petites bulles d'air.

Chez les oiseaux comme chez les mammifères, le sang du cœur gauche était rouge clair et par suite contenait encore de l'oxygène....

Deux grenouilles amenées jusqu'à complet affaissement furent ouvertes; on n'y trouva pas de gaz au cœur... Un orvet amené à 22 millimètres de pression, se gonfla et demeura sans mouvement; puis, quelques minutes après être revenu à la pression normale, il parut aussi bien qu'auparavant. » (*Pression barométrique*, p. 238.)

Paul Bert signale encore un certain nombre de savants, qui avant lui ont parlé du dégagement de gaz libre dans le sang, par le fait de la décompression.

Bucquoy dit que pendant et après la décompression, tous les gaz dissous dans le sang par suite de la condensation de l'air, tendront à s'échapper de ce liquide..... Les particules de gaz qui ont repris l'état aériforme dans toute l'étendue du système sanguin, restent mécaniquement mêlées aux molécules liquides qui auparavant les dissolvaient; le sang devient donc un mélange expansible, faisant effort pour distendre les vaisseaux, d'où tendance à l'emphysème et imminence hémorragique, pouvant se traduire en faits.

Vivenot se montre des plus précis : La compression de l'air, dit-il, n'apporte aucun trouble important dans la circulation, alors même qu'elle est poussée à quatre atmosphères et demie. — On n'en peut pas dire autant du stade de la décompression qui cause, *quand on va trop vite*, des troubles gênants et même très dangereux dans la distribution du sang. — Le séjour dans l'air comprimé est donc moins dangereux que le retour à l'air libre, qui cause des congestions, des hémorragies, des douleurs et surtout des troubles d'équilibre de diverses sortes dans le système circulatoire, qui même, *par le développement de gaz dans le sang*, peut amener un arrêt de la circulation et par suite une mort subite. — *Le moyen à employer, en présence de ces accidents, est le retour rapide dans l'air comprimé.*

Ainsi que je l'ai dit déjà, toute cette partie de l'historique contient le compte rendu des travaux antérieurs à ceux de Paul Bert et les critiques sont surtout les siennes propres. Nous rendons

compte, dans le paragraphe suivant, des recherches mêmes de l'auteur de la *Pression barométrique*, le premier qui ait donné, en particulier, des effets de la décompression brusque, une explication qui soit l'interprétation d'expériences, et non pas de simples vues théoriques.

### Travaux de Paul Bert.

§ 6. — Ces travaux, dans le cadre dont nous parlons ci-dessus, sont ceux qu'on trouve exposés seulement dans certains sous-chapitres des CHAPITRES I, IV et VII de la *Pression barométrique*.

On le voit, je n'ai repris, de la question sur la pression barométrique, qu'une partie des travaux de Paul Bert. Mais sans retracer en détail son œuvre entière, à ce sujet, je crois nécessaire d'en signaler, au moins pour ce qui concerne les animaux, toutes les parties qui, si invariablement liées entre elles, forment un tout bien défini.

Le Dr Jourdanet, à qui est dédié le livre de la *Pression barométrique*, avait remarqué l'état constant d'anémie dont se trouvaient frappés les habitants des hauts plateaux du Mexique; il attribuait cet état à la raréfaction de l'oxygène dans les hautes régions atmosphériques.

La pression normale étant, en effet, de 76 centimètres de mercure en moyenne au niveau de la mer, n'est plus que de 75 centimètres à 100 mètres d'altitude où la tension de l'oxygène a diminué déjà de 4 millimètres. A 1123 mètres (Vésuve), la pression atmosphérique étant de 66 centimètres, la tension de l'oxygène dans l'air libre n'est déjà plus que  $\frac{66}{76} = 16,8$ . A 4810 mètres (Mont-Blanc), le baromètre marque en moyenne 38 centimètres et la tension de l'oxygène est 10,5, tension qui devient 5,9, à 8000 mètres, altitude maxima atteinte par l'homme dans les montagnes de l'Himalaya.

Avec des degrés différents de résistance individuelle, l'homme qui gravit les cimes élevées éprouve des malaises, vertiges, éblouissements, tuméfaction et rougeur de la peau, ressemblant à de l'asphyxie; c'est le mal des montagnes.

Si nous établissons les mêmes calculs que précédemment pour rechercher dans quelles conditions homologues se trouvent les

aéronautes dans les ascensions à grandes hauteurs, nous trouvons que, par exemple, le savant Glaisher s'élevant avec l'aéronaute Coxwell à l'altitude de 8838 mètres, toute voisine de celle de la cime inaccessible de l'Himalaya, le Gaurisanhar, s'évanouit respirant à ce moment de l'air où la tension de l'oxygène était moindre que 4. Croce-Spinelli et Sivel, moins résistants aux effets de l'air raréfié que Glaisher, que Coxwell et que leur propre compagnon Gaston Tissandier qui avant de perdre connaissance eut la force d'ouvrir la soupape du Zénith, ont péri eux à 8600 mètres. L'aéronaute dans les régions très élevées de l'air est donc victime d'accidents analogues au mal des montagnes : c'est le mal des ballons.

Nous verrons à la suite de quelles expériences Paul Bert s'est rangé à l'idée du Dr Jourdanet, à savoir que le mal des montagnes, comme le mal des ballons, se manifestant dans l'air raréfié, mais pur, était dû à la moindre quantité d'oxygène fournie à l'organisme dans chaque inspiration.

Lorsqu'au lieu de s'élever du niveau de la mer dans les hautes régions de l'atmosphère, l'homme veut descendre dans l'eau, comme font les scaphandriers et les ouvriers tubistes, au lieu d'air raréfié, il respire de l'air comprimé. La compression trop forte et trop prolongée détermine également des accidents que Paul Bert attribue à l'augmentation de la tension de l'oxygène, et c'est en orientant ses expériences sur les animaux, dans cet ordre d'idées, qu'il arrive à considérer l'oxygène à haute tension, comme toxique.

Il est enfin un dernier point clairement établi pour le savant dont nous analysons l'œuvre principale, c'est l'effet de la décompression brusque.

Tandis que dans sa chute le ramenant des hautes régions de l'air à la surface de la terre, l'aéronaute revient à la santé d'autant plus rapidement que cette chute est plus rapide, le retour qu'effectue en sens inverse le scaphandrier peut lui être des plus funestes, s'il est trop précipité. La cause des accidents, chez ce dernier, est d'ordre purement mécanique ; les gaz dissous en excès, dans le sang, à haute pression, deviennent libres au moment de la décompression et déterminent des accidents mortels.

En résumé : l'homme et par conséquent les animaux ne résistent pas impunément à une forte dépression si elle se prolonge. Tandis

qu'ils supportent mieux la compression, la décompression rapide leurest funeste. Dans le premier cas, l'ennemi, de nature chimique, c'est l'oxygène par défaut; dans le second cas, de nature chimique encore, c'est l'excès d'oxygène et dans le troisième cas le danger provient d'un phénomène d'ordre mécanique, dépendant de la rapidité de décompression.

Voici maintenant l'historique rapide des expériences de Paul Bert et les conclusions qu'il en a données.

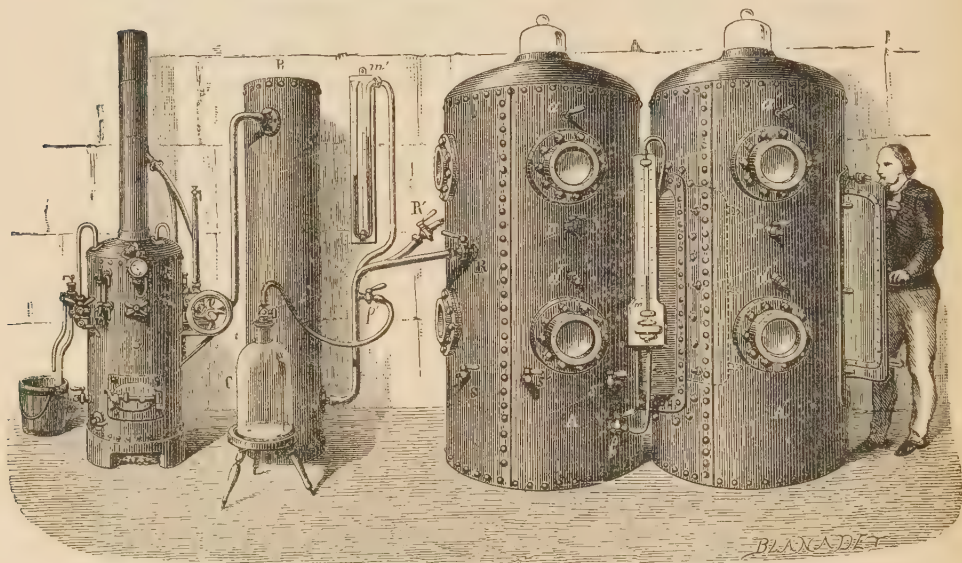


Fig. 2. — Grand appareil pour l'étude des faibles pressions AA', cylindre en tôle boulonnée, avec hublots en verre. — B, cylindre où l'on peut faire à l'avance le vide à 5 centimètres, afin d'obtenir une rapide diminution dans les grands cylindres. — C, grande cloche de verre où peut être fait, par l'intermédiaire du cylindre B, un vide instantané. — RR', robinets qui communiquent chacun avec l'un des cylindres A et A', que répare une porte intérieure marquée en pointillé. — p, robinet de communication avec G, — r, r', d, d'; s, s' s'', ouvertures et robinets pour prendre de l'air des cylindres, extraire le sang; etc. — a, a', thermomètres. — m, m', manomètres.

§ 7. Pressions diminuées. Anoxyhémie. — La figure 2 représente un des appareils qui permet d'étudier les effets de la dépression sur les chiens <sup>1</sup>.

Ce sont deux chambres cylindriques pouvant être isolées l'une de l'autre par une porte de communication haute de 2 mètres et convenablement éclairées par des hublots de verre. Grâce à des bour-

<sup>1</sup>. La pression barométrique, fig. 27, p. 631.

relets de caoutchouc sur lesquels elles s'appliquent de dehors en dedans, les portes de ces cylindres ferment hermétiquement, pendant les dépressions. Le vide s'effectue au moyen d'une pompe à vapeur, des manomètres et des thermomètres indiquent la pression intérieure. Les autres parties de l'appareil représentées sur la planche servent à certaines expériences dont nous ne parlerons pas.

Le chien convenablement immobilisé est introduit dans l'un des cylindres. Un dispositif particulier et très ingénieux (fig. 3)<sup>1</sup> permet

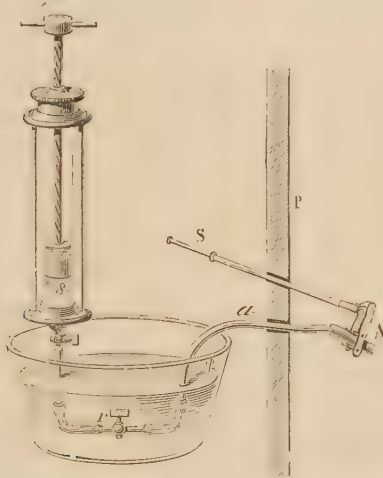


Fig. 3 — Extraction du sang d'un animal placé sous diminution de pression : A, artère; P, paroi de l'appareil; S, serre-fine; a, sonde placée dans l'artère; s, seringue aspirant le sang (son armature inférieure doit plonger tout entière dans l'eau).

l'extraction du sang de l'animal, pendant qu'il est en expérience, sang qui est ensuite soumis à l'analyse.

Nous donnons ci-après le résultat des analyses de Paul Bert.

|                                                         |                   |
|---------------------------------------------------------|-------------------|
| A 76 cent. de pression le sang artériel normal contient | 20 0/0 d'oxygène. |
| A 58 — — — — —                                          | 18 0/0 —          |
| A 45 — — — — —                                          | 16 0/0 —          |
| A 35 — — — — —                                          | 12 0/0 —          |
| A 25 — — — — —                                          | 10 0/0 —          |
| A 17 — — — — —                                          | 7 0/0 —           |
| moins que le sang veineux.                              |                   |

Quant à l'acide carbonique, il diminue dans le sang, dans des proportions tout à fait analogues.

Avec la pression décroissante, sans que la quantité d'acide carbo-

1. La pression barométrique, fig. 50, p. 636.

rique augmente, la quantité d'oxygène diminue dans le sang, et c'est cet appauvrissement du sang en oxygène que le Dr Jourdanet a appelé *anoxyhémie* quand il est suffisant pour que des troubles en résultent.

Les aéronautes et les alpinistes se trouvent dans les mêmes conditions que les animaux soumis aux expériences ci-dessus mentionnées et qui peuvent servir à expliquer le mal des montagnes et le mal des ballons.

Paul Bert, dans son chapitre sur la mort des animaux en vase

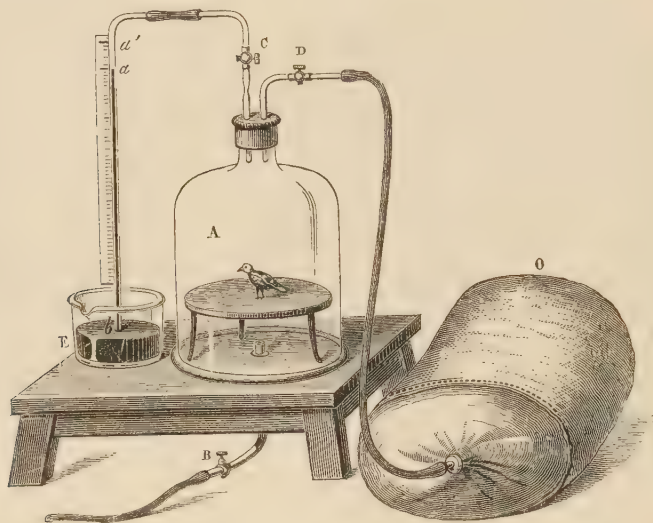


Fig. 4 — Oiseau dans un air de plus en plus dilaté et de plus en plus oxygéné : A, cloche communiquant en B avec la machine pneumatique, en C avec un tube barométrique, en D avec un sac plein d'oxygène O<sup>2</sup>.

clos<sup>1</sup>, repousse l'idée de toute action mécanique, intervenant pour expliquer les accidents dont sont victimes les aéronautes ou les voyageurs en montagnes, turgescence de la face, hémorragies, etc.

Les deux expériences (fig. 4 et fig. 5) qui suivent peuvent, à ce point de vue, être considérées comme fondamentales<sup>3</sup>.

« Un moineau est placé sous une cloche où nous pouvons faire le vide — le vide sous courant d'air si nous voulons — au moyen de

1. *La pression barométrique*, chap. I, p. 525.

2. *La pression barométrique*, fig. 55 et p. 748.

3. Dastre, *La chaire de physiologie à la Sorbonne* (Leçon inaugurale du 7 novembre 1887).

la pompe pneumatique ou d'une simple trompe. Cette cloche communique d'un côté avec un tube manométrique, qui nous permettra à chaque moment de connaître l'abaissement exact de la pression, et d'autre part avec un ballon d'oxygène. On commence à raréfier l'air, très lentement, afin de désintéresser la brusquerie des variations. Quand la pression n'est plus que de 25 centimètres dans la cloche, l'oiseau titube, trébuche; à 18 centimètres, il s'agite, il tombe sur le côté, les ailes étendues : il va mourir. Nous rendons l'air, et mieux encore de l'oxygène : il se remet, au bout de quelques moments le voilà rétabli.

Ce n'est point la dépression mécanique produite par cet abaissement barométrique qu'il faut accuser.

En effet, cette fois nous avons introduit de l'oxygène dans la cloche, de l'oxygène presque pur (la composition vérifiée nous donne 87 d'oxygène et 17 d'azote). Nous recommençons le vide; voici la pression à 25 centimètres; l'animal ne manifeste aucun malaise : il dépasse sans encombre la pression 18 centimètres, qui tout à l'heure rendait la mort imminente : nous atteignons 15 centimètres. Nous voici à 12 centimètres et l'oiseau n'est pas incommodé. »

Quelle différence y a-t-il entre les deux expériences dont les conséquences sont opposées? C'est que dans la première la tension de l'oxygène est moindre que dans la seconde, 6 cent. 3 dans le premier cas, 26 cent. 4 dans le second.

Paul Bert a voulu se rendre compte de ses affirmations à propos de la dépression en opérant sur lui-même. Il s'enferma dans l'appareil que nous avons décrit au commencement de ce chapitre, (fig. 5), la pompe à vapeur fit le vide. Il éprouva les premiers malaises du mal des montagnes à la pression de 45 centimètres. De 60, le pouls était monté à 85 pulsations. L'expérimentateur respira alors l'air d'un sac contenant de l'air riche en oxygène (75 0/0), aussitôt les malaises disparurent et le pouls retomba à 60. La pression fut abaissée jusqu'à 25 centimètres dans le cours de l'expérience et cette pression correspondait à l'altitude de 8850 mètres, à laquelle Glaisher perdit connaissance.

Dans cette dernière expérience, comme dans celle que nous avons décrite avant, sur l'oiseau, c'est l'oxygène qui a été le sauveur, introduit dans l'organisme, alors que celui-ci était en état d'anoxyhémie, c'est-à-dire en état d'asphyxie par défaut d'oxygène.

Cette influence de la dépression sur le sang, Paul Bert l'a étudiée

en expérimentant directement sur le sang, à *cru*, *in vitro*, *in vivo*<sup>1</sup>. Il semblait résulter des travaux de Fernet<sup>2</sup> que l'oxygène du sang était indépendant de la pression, l'oxygène étant surtout en combinaison dans le fluide nourricier et la quantité en dissolution dans le

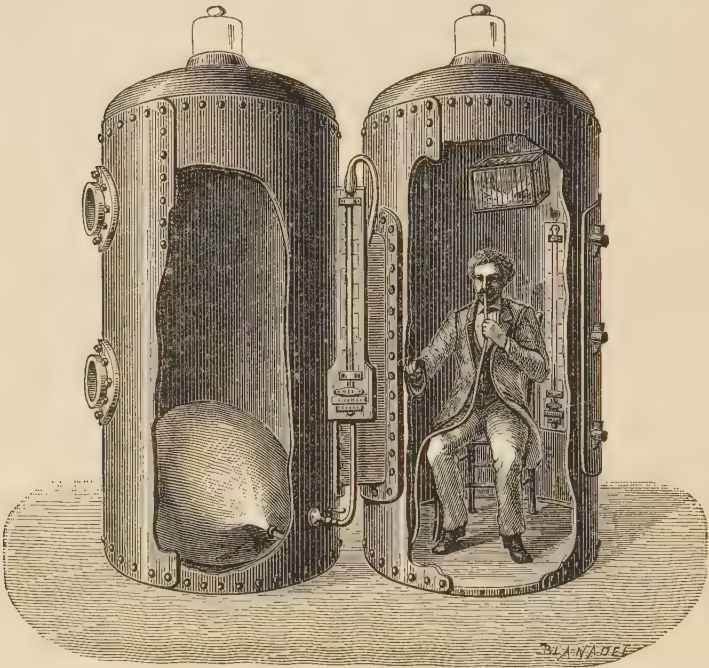


Fig. 5. — Respiration d'un air moxygéné, dilaté par la diminution de pression<sup>3</sup>.

plasma étant minime. Il n'en est pas ainsi. Quand la pression diminue, la composition de l'oxyhémoglobine se modifie par la dissociation.

Paul Bert a donné 57 cent. comme valeur de la pression à laquelle la dissociation commence à se produire, mais il paraît résulter des travaux de Fränkel et Geppert que ce nombre est trop élevé et que la dissociation de l'oxyhémoglobine n'a lieu qu'à partir de 30 cent. C'est donc au-dessous de 30 cent. que commencerait seulement l'altération du sang, constituant l'état d'anoxyhémie.

Ce déplacement numérique n'infirme pas la découverte de Paul

1. *Pression barométrique*, chapitre I, 2<sup>e</sup> partie.

2. Fernet, Du rôle des principaux éléments du sang, dans l'absorption ou le dégagement des gaz de la respiration. *Ann. des sciences naturelles*, 4<sup>e</sup> série, t. VII.

3. *La pression barométrique*, figure 56, page 750.

Bert, assimilant les effets de l'air raréfié à l'asphyxie et ses conclusions demeurent acquises à la science :

« *En vase clos, aux pressions inférieures à une atmosphère, la mort survient lorsque la tension  $O \times P$  de l'oxygène de l'air est réduite à une certaine valeur qui est constante pour chaque espèce, et qui du moins oscille dans de faibles limites autour d'une moyenne 4,4 pour le chat adulte, 3,6 pour les moineaux, 2,5 pour le cochon d'Inde, 2,2 pour les chats nouveau-nés <sup>1</sup>.* »

§ 8. *Pression augmentée. Toxicité de l'oxygène.* — Pour Paul Bert, l'influence de la compression en elle-même, sur l'organisme animal, est insignifiante. Les accidents qui en résultent, et ces accidents peuvent être des plus graves, sont dus à l'action que l'oxygène exerce sous tension croissante.

Sous tension diminuée, l'animal est en état d'asphyxie, sous tension croissante il est soumis à l'action de l'oxygène agissant comme toxique et pouvant produire, si la tension est suffisamment élevée, des accidents que nous avons décrits au commencement de ce chapitre.

Cela ne proscrirait pas l'emploi, paraît-il bienfaisant, de l'air comprimé sous faible pression, où l'oxygène agit à tension peu élevée et serait comparable à ces poisons violents qui, administrés à faible dose, sont de précieux agents thérapeutiques.

S'il s'agit de chiens, l'appareil (fig. 6) <sup>2</sup>, servant à l'étude des pressions augmentées, est un grand cylindre métallique en tôle d'acier, de 1 mèt. 50 sur 0 mèt. 40, pouvant supporter 12 atmosphères. Des robinets permettent d'établir la communication de l'intérieur du cylindre avec la pompe, ou avec l'air, etc. Au travers de hublots de verre on peut voir les animaux sous pression.

Un dispositif particulier (fig. 7) <sup>3</sup> permet de recevoir, dans une seringue, du sang de l'animal placé dans l'intérieur du cylindre, pour être ensuite soumis à l'analyse.

S'il s'agit de petits animaux, d'oiseaux par exemple, l'appareil est celui que représente la figure 8 <sup>4</sup>, celui qui avait servi déjà aux expériences en vases clos.

1. *Pression barom.*, p. 579. Conclusions du chapitre I, sous-chapitre 1<sup>er</sup>, 2<sup>e</sup> partie.

2. *La pression barométrique*, fig. 33, p. 655.

3. *La pression barométrique*, fig. 34, p. 657.

4. *La pression barométrique*, fig. 20, p. 582.

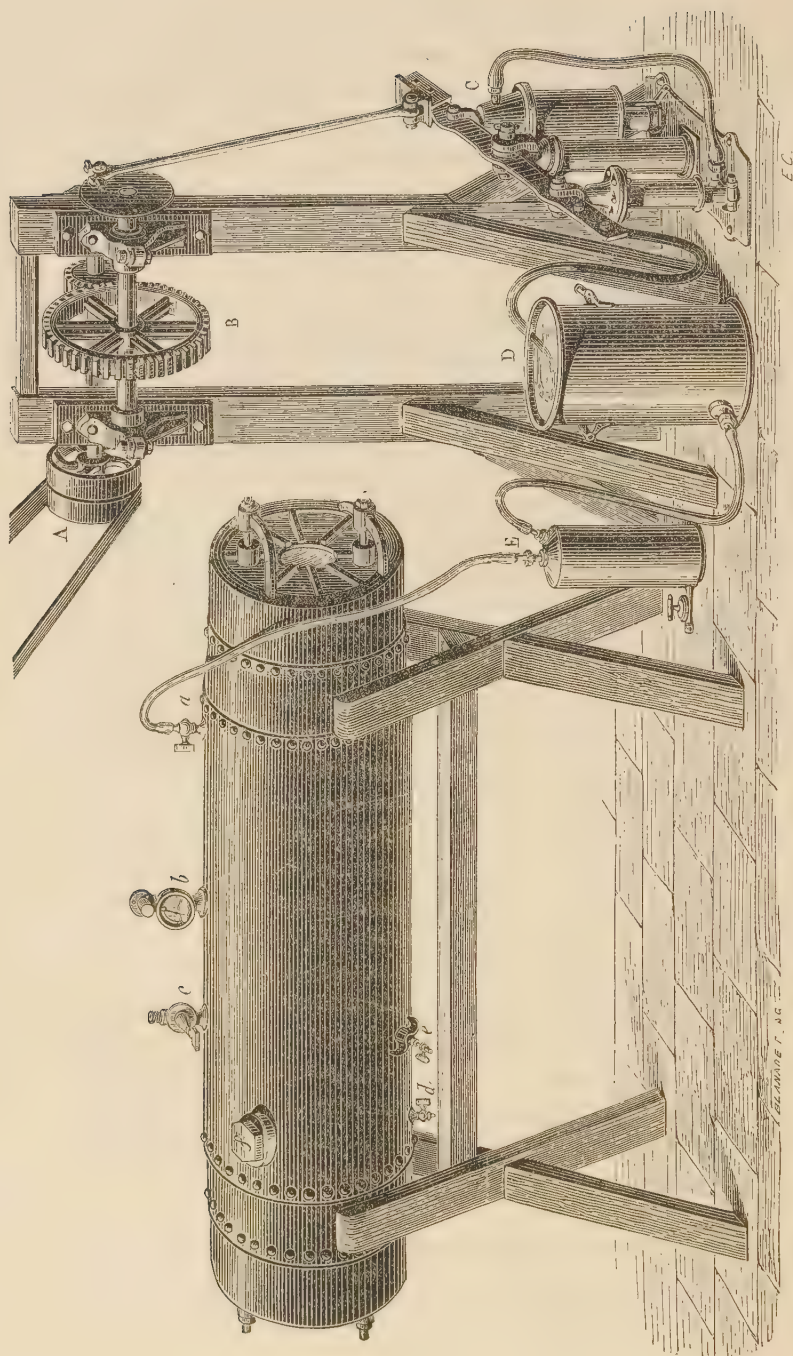


Fig. 6. — Grand appareil à air comprimé, cylindre de tôle d'acier supportant 12 atmosphères : A, courroie de transmission de la machine à vapeur. — B, système d'engrenages. — C, pompe Denayrouze à compression. — D, serpentin pour refroidir l'air comprimé. — E, récepteur pour recevoir l'eau condensée en D. — a, robinet par lequel arrive l'air comprimé. — b, manomètre. — c, gros robinet, pour décompression brusque. — d, robinet pour recueillir l'eau, l'urine contenues dans l'appareil. — p, ouverture de fortes dimensions pour manipulations diverses.

C'est en expérimentant à l'aide du grand cylindre que Paul Bert a décrit les accidents attribués par lui chez les mammifères, à l'action toxique de l'oxygène comprimé ou ce qui revient au même, pour lui, à l'action de l'air suroxygéné.

Voici, effectuée dans l'appareil de verre, la description d'une expérience typique :

Un oiseau est placé dans le cylindre de verre à 10 atmosphères d'air ordinaire, l'animal ne paraît pas incommodé. Mais qu'au lieu

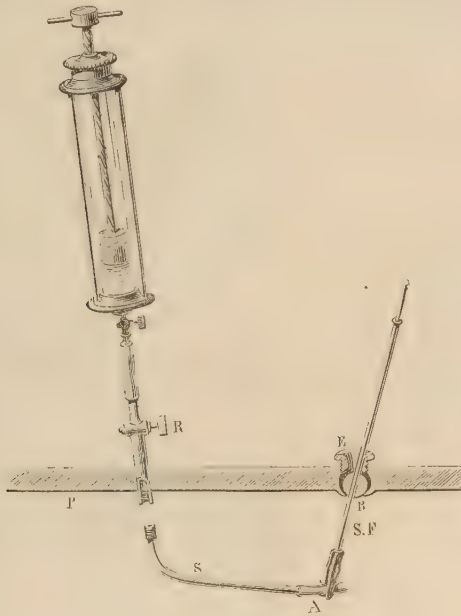


Fig. 7. — Extraction du sang d'un animal placé dans l'air comprimé.

d'air, on emploie de l'oxygène pur, l'oiseau a bientôt des convulsions violentes qui se succèdent par crises et se terminent par la mort.

Pour obtenir le même résultat, dans l'air comprimé, il faut pousser la pression jusqu'à 22 atmosphères.

Inversement, la compression de 25 atmosphères est tout à fait inoffensive, avec de l'air très appauvri d'oxygène,

D'où la conclusion proposée par Paul Bert :

*L'oxygène, à une certaine dose, se comporte comme un poison violent.*

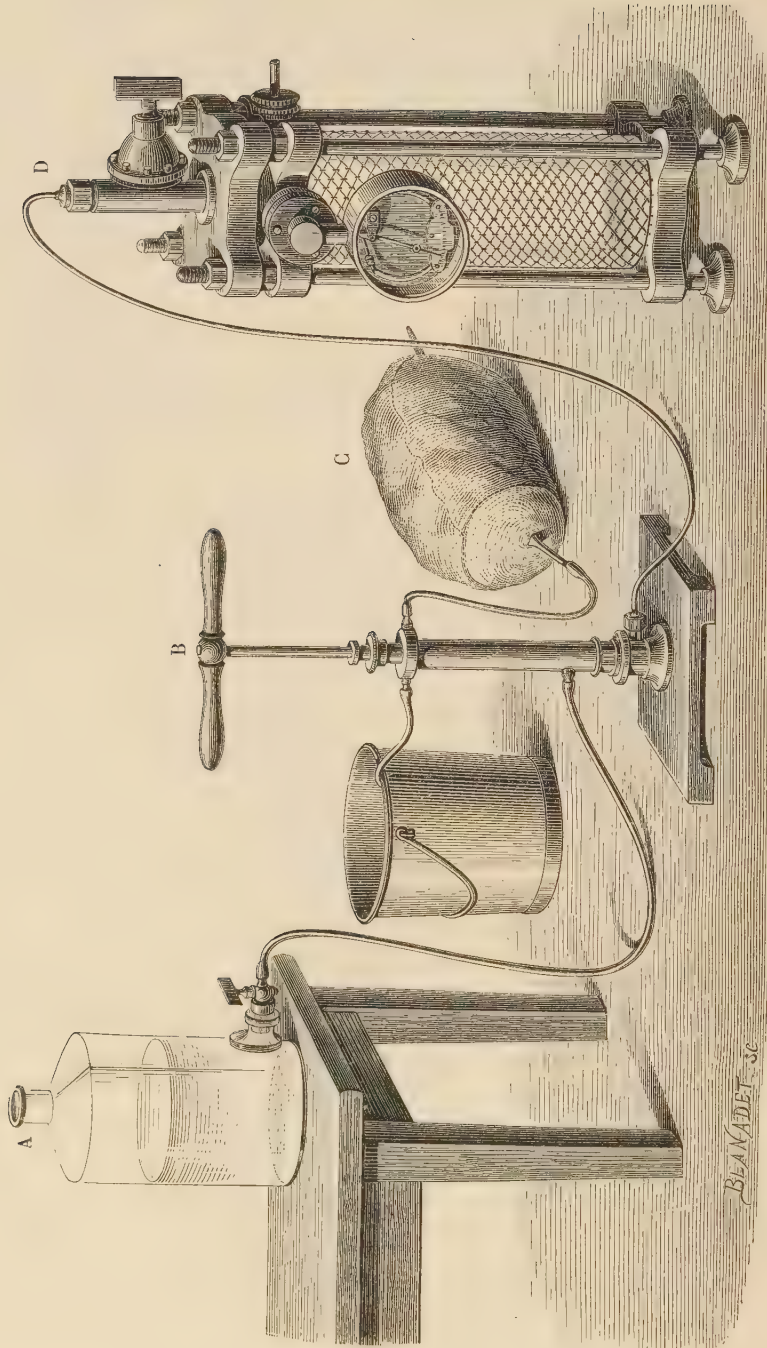


Fig. 8. — Appareil cylindrique en verre pour hautes pressions (35 atmosphères), en charge d'air sur-oxygéné. — A, courant d'eau froide enveloppant la pompe pour éviter l'échauffement de l'air comprimé. — B, pompe à compression. — C, sac contenant l'oxygène. — D, cylindre avec manomètre et robinet capillaire.

BEAUMET SC

Les effets de ce poison supposé, comparables à ceux de la strychnine et des autres toxiques excitants de la moelle épinière, sont durables, car les animaux ramenés à l'air libre avant d'avoir péri dans l'oxygène comprimé, tout en conservant l'intelligence lucide, ont encore des crises convulsives, des troubles ataxiques pouvant durer plus d'un jour et se terminer même par la mort, longtemps après l'action directe de l'oxygène comprimé.

Ce n'est pas que, sous l'influence de la compression, la quantité d'oxygène augmente sensiblement dans le sang. Il n'y a pas, consécutivement aux pressions croissantes, de phénomène inverse à ceux de la dissociation dans le cas des pressions décroissantes. D'après les analyses de Paul Bert en effet, il ne se dissout guère plus d'un volume d'oxygène pour cent volumes de sang, par chaque atmosphère de compression.

Ce n'est donc pas dans l'altération du liquide sanguin qu'est la cause des accidents, elle est d'ordre plus général, puisque les expériences de notre auteur ont établi pour lui l'opinion ferme que non seulement l'oxygène comprimé tue les animaux à sang chaud, mais qu'il est encore mortel pour les animaux à sang froid, vertébrés ou invertébrés, qu'il est néfaste aux végétaux et même aux organismes simples.

Les mycodermes du vinaigre sont tués par l'oxygène comprimé, la putréfaction des matières organiques s'y arrête ainsi que la germination des graines (P. Bert).

En somme, d'après Bert : *L'oxygène en excès arrête les oxydations.*

Certaines de ces conclusions paraissent pourtant avoir été modifiées à la suite de travaux récents, et particulièrement en ce qui concerne les végétaux.

Mais l'action funeste du gaz comburant et vivifiant par excellence, quand elle s'exerce à haute dose, n'en est pas moins établie pour les organismes élevés.

« Consommation d'oxygène, production d'acide carbonique et d'urée, destruction de la glucose dans le sang, tous les phénomènes chimiques dont la mesure est facile à faire se montrent considérablement ralentis par l'action de l'oxygène sous forte tension. Et comme ce sont ces phénomènes qui déterminent la production de la chaleur, il n'est pas étonnant de voir que la température des

animaux s'abaisse considérablement. Il n'est pas étonnant, non plus, de voir que la mort soit la conséquence d'une pareille dépression dans l'intensité des actes physico-chimiques de la nutrition.

Mais l'excitation violente, les convulsions constantes qui accompagnent cette mort, n'en restent pas moins inexplicables, par le fait seul de cette dépression; moins explicable encore est la persistance des accidents après le rétablissement de la pression normale. Nous avons, en effet, dans l'étude de la diminution de pression, constaté une diminution des actes chimiques, analogue à celle que nous a révélée l'augmentation de pression, et cependant l'agitation convulsive qui précède la mort par dépression rapide n'est en rien comparable aux violentes convulsions dues à l'oxygène, et, de plus, le retour à l'air libre marque irrévocablement la fin de tous les accidents.

Ceci montre donc que, pendant la compression, les actes chimiques réguliers de la nutrition ont été non seulement ralentis, mais modifiés; il est supposable que le résultat de cette déviation a été la formation de quelque substance qui, persistant après la décompression, contribuerait à entretenir les accidents et pourrait déterminer la mort; substance dont l'élimination ou la destruction seraient nécessaires pour le retour à l'état de santé. » *Pression barométrique*, chapitre IV. — Conclusion du sous-chapitre 1<sup>er</sup>, p. 811.

§ 9. *Changement brusque de pression. Rôle mécanique de l'azote.*

— Nous avons vu qu'avant Paul Bert, plusieurs savants, et Robert Boyle le premier dès le XVII<sup>e</sup> siècle, avaient attribué au dégagement de gaz libres dans le sang, les accidents dus à la décompression rapide. Mais ce dégagement était affirmé beaucoup plus par une conception de l'esprit qu'à la suite d'expériences. Nous avons cité dans le paragraphe 3, un passage extrait des travaux de Hoppe Seyler en 1857, dont Paul Bert reconnaît lui-même la haute valeur, quand il écrit dans *la Pression barométrique* (p. 1158) : c'est « une page que je signerais volontiers aujourd'hui ».

Paul Bert a d'abord repris avec ces appareils à dépression les expériences de ses éminents prédécesseurs, déclarant qu'il ne connaissait pas la méthode employée par Hoppe, avant lui, et qui d'ailleurs l'a conduit à des conclusions opposées. Puis c'est après avoir élevé la pression au-dessus des pressions normales

qu'il effectua des décompressions brusques, tantôt en plusieurs temps, tantôt en un temps.

Disons-le immédiatement, les résultats qu'il a donnés sont demeurés, sur ce point, incontestés et acquis définitivement à la science. Mais à l'aide de ses appareils, jamais, sauf dans deux cas d'explosion (Expérience DXV, p. 941, et Expérience XLVIII, p. 950), la décompression produite n'a été instantanée.

Il en résulte que, dans beaucoup de cas, des pressions très élevées et maintenues plus d'une heure n'ont pas causé la mort des animaux expérimentés, parce que la décompression, durant souvent plus de deux minutes, quoique qualifiée de brusque, était trop lente. La durée trop longue de la compression permettait aussi à l'oxygène d'agir par la tension déjà élevée, d'où les accidents de paraplégie, la mort des animaux survenant après plusieurs heures, alors que par décompression brusque, la mort, si elle doit survenir, frappe sa victime quand le dégagement du gaz, dans les vaisseaux, est devenu suffisant.

Je rappelle quelques expériences où, si le changement de pression avait été plus brusque, l'animal serait mort après un temps de compression bien moindre, ainsi que je crois l'avoir établi, à l'aide de mon appareil à détente instantanée.

Expérience DVI (p. 939). — Un moineau a été comprimé deux heures dans l'air à 8 atmosphères, puis décomprimé en quelques secondes — ineurt en 10 minutes. — Gaz dans le sang.

L'animal est sans doute mort de la décompression, mais il a été soumis en même temps à l'action de l'oxygène sous tension moyenne de 168 cm., pendant deux heures. Aussi, l'oiseau avait-il donné déjà des signes de malaise, pendant qu'il était sous pression.

Dans l'expérience DVII, p. 939. — Pendant près de deux heures, un moineau est soumis à 9 atmosphères  $1/2$ , dans l'air, c'est pendant la compression qu'il tombe inanimé, la décompression rapide (?) le ramène à la santé, c'est encore l'action de l'oxygène, combattu par celle de l'air pur, qui a été cause des troubles les plus graves. Trente à trente-cinq minutes de compression dans l'air à 9 atmosphères, suivie d'une décompression instantanée, aurait sans doute frappé le moineau de mort foudroyante.

Le moineau de l'expérience DXIV (p. 940) qui a subi, pendant un temps qui malheureusement n'est pas indiqué, une pression énorme

de 15 atmosphères, paraît être mort aussi sous l'influence de l'oxygène. Le grand cylindre de tôle, dans lequel il a été enfermé, n'avait pas en effet de robinet permettant une décompression réellement rapide. D'après les renseignements qui m'ont été donnés, c'est en plusieurs minutes que l'intérieur de ce cylindre pouvait être ramené le plus rapidement possible de 15 atmosphères à la pression ordinaire.

Les quatre expériences suivantes qu'on peut lire à la page 942 sont très instructives. Je les reproduis in extenso :

« G. — *Expériences faites sur les lapins.*

EXP. DXX. — 22 juin. Lapin. Porté à 8 atmosphères. Décomprimé en 3 minutes. Oreilles d'un rouge vif; aucun accident ni immédiat ni consécutif.

EXP. DXXI. — 7 novembre. Deux lapins. Portés à 7 atmosphères; décomprimés en 2 min. 1/2. Aucun accident.

EXP. DXXII. — 10 novembre. Mêmes animaux. Portés à 8 atmosphères 1/8; décomprimés en 2 min. 1/4. Aucun accident, ni immédiat, ni consécutif.

EXP. DXXIII. — 15 novembre. Lapin. Porté à 6 atmosphères 1/2; décomprimé en 4 min. 1/2. Aucun effet. »

Le tableau de la page 954 fait connaître la durée de la compression, dans les quatre expériences précédentes, sauf pour l'expérience DXXII. Dans les deux premières elle a été insuffisante, pour que les effets de l'oxygène puissent se manifester et même pour qu'une décompression instantanée soit nuisible.

Mais le lapin de l'expérience DXXIII a subi pendant 1 heure 3/4 l'action de l'air comprimé à 6 atmosphères 1/2; s'il n'a pas eu d'accidents, c'est certainement parce que la décompression a duré 4 min. 1/2.

Et ce résultat est même tout à fait d'accord avec l'une des conclusions les plus importantes que je propose à la suite de mes travaux personnels, à savoir qu'une douche d'air est bienfaisante, et peut suffire à guérir les accidents en apparence d'empoisonnement, dus à l'inhalation de l'oxygène sous haute pression.

Il ne me paraît pas nécessaire de multiplier les exemples, dans l'ordre d'idées où je me place ici. Ce serait anticiper sur les matières

traitées aux chapitres suivants de mon travail, où j'ai été préoccupé toujours de bien séparer l'action mécanique de la décompression réellement brusque, de l'action chimique de l'oxygène sous haute tension, que ce dernier gaz soit pur ou mêlé d'azote.

Du reste la critique que je viens de faire, sur un point assez limité de l'œuvre de Paul Bert, si critique il y a, est en somme légère puisque le point scientifique, qui nous occupe, a été bien fixé, à l'aide des appareils du professeur de la Sorbonne.

Ne se l'est-il pas d'ailleurs adressée à lui même, en signalant les conséquences des conditions exceptionnelles de vitesse dans lesquelles s'était produite la décompression, lorsque dans l'expérience XLVIII (p. 950) un hublot du grand cylindre se brisant, il se produisit une explosion qui aurait pu avoir les suites les plus malheureuses, pour Paul Bert et pour M. le D<sup>r</sup> Gréhant qui l'aidait en cette circonstance ?

Si j'ai placé ces remarques ici, c'est que je désirais ne pas revenir sur les effets de la décompression brusque, dans la partie de l'historique qui suit, où j'expose les travaux des successeurs de Paul Bert sur l'action de l'air et de l'oxygène comprimés ou déprimés.

### Après Paul Bert.

§ 10. *Action de l'air comprimé et de la décompression sur les animaux.* — Si nous voulions énumérer les travaux des physiologistes qui après Paul Bert ont étudié l'influence des variations de la pression sur l'organisme en restreignant l'horizon de cet historique aux seules questions que nous avons nous-même étudiées, en quelques lignes nous accomplirions cette tâche. Aussi, sans nous étendre longuement, parlerons-nous pourtant de certains points scientifiques confinant à nos recherches, points qu'il nous a été indispensable de connaître et sur lesquels les solutions proposées par le savant français ont été contrôlées, vérifiées ou contestées.

En France, l'application des lois fondamentales, établies par Paul Bert, a permis à plus d'un expérimentateur de faire progresser la science.

A l'étranger, particulièrement en Allemagne, quelques physiologistes ont repris, par des méthodes différentes, plusieurs des expériences de l'auteur de la *Pression barométrique*, mais ce sont seu-

lement en certains de leurs détails qu'un petit nombre de résultats ont été modifiés.

§ 11. *Critiques de M. de Cyon.* — Citons tout d'abord, sans nous y attarder, les travaux exécutés au laboratoire de la Sorbonne, avec les appareils de Paul Bert par M. de Cyon <sup>1</sup>, qui s'est ensuite servi de ces appareils mêmes, comme arsenal offensif pour attaquer violemment celui qui lui avait livré ses propres armes.

M. de Cyon, dans les recherches dont nous parlons, s'était plus particulièrement proposé d'étudier les *actions réflexes des nerfs sensibles sur les nerfs vaso-moteurs*, et, dit-il lui-même : « C'est tout à fait indirectement que nous avons été amené à nous occuper de l'action des hautes pressions sur l'organisme animal. »

Pour cet auteur l'action de l'oxygène demeurerait absolument étrangère aux accidents qu'ont éprouvés les animaux, dans les expériences de Paul Bert sur l'air comprimé. Il y a d'abord, au dire de M. de Cyon, l'excès d'acide carbonique qui joue dans l'organisme le rôle d'un « violent excitant... pour les centres nerveux », et M. Bert « évidemment l'ignore ».

M. Dastre s'est chargé de répondre à M. de Cyon sur ce dernier point :

« N'en déplaise à l'auteur de ces lignes, le rôle anesthésique de l'acide carbonique est une réalité. Ozanam avait signalé le fait à l'Académie des sciences en 1858; Paul Bert, avec les mélanges titrés, a montré que l'anesthésie se soutient lorsque la proportion de CO<sup>2</sup> dans le sang atteint de 80 p. 100 à 90 p. 100. M. Gréhant a fondé là-dessus une méthode d'anesthésie. Il insensibilise complètement les lapins en une minute, en leur faisant respirer un mélange (CO<sup>2</sup> = 45; Az = 3,2; O = 20,8) d'acide carbonique et d'air contenant en définitive la proportion ordinaire d'oxygène et 45 p. 100 d'acide carbonique remplaçant une égale quantité d'azote; au bout de cinq minutes, le nombre des respirations est abaissé à 9 et l'anesthésie se maintient pendant une heure avec ce rythme abaissé. L'analyse du sang <sup>2</sup> donne des résultats entièrement confirmatifs de ceux de Paul Bert. » (*La chaire de physiologie de la Sorbonne*. Extrait de la Revue scientifique des 10 et 17 décembre 1887.)

1. *L'action des hautes pressions atmosphériques sur l'organisme animal*, par E. de Cyon (*Archive für Physiologie*, 1883, supplément, p. 212).

2. *Comptes rendus de la Société de Biologie*, 4 février 1887 et 18 mars 1887.

Quant à la réfutation de l'opinion consistant à nier l'action néfaste de l'oxygène lorsque ce gaz atteint un certain degré de tension, les expériences de P. Bert répondent clairement à qui se sert pour voir des yeux de l'impartialité. J'ajoute que, dans le chapitre V de mon travail, les animaux expérimentés l'ont tous été dans l'oxygène pur, sans cesse renouvelé, scrupuleusement analysé, et que cet oxygène comprimé au-dessus de 1 atm.  $1/2$  a été mortel pour eux, et que si la pression intervenait comme seule cause, les animaux mourraient dans le même temps à des pressions égales, dans l'air et dans l'oxygène privés l'un et l'autre d'acide carbonique, ce qui est contraire aux faits.

Que devient alors cette critique contre les travaux de Paul Bert, aussi passionnée qu'inintelligible pour moi : « Si l'on s'avisait d'introduire de force dans l'estomac d'un chien une cinquantaine de kilos de viande, l'animal soumis à ce traitement serait étouffé ou succomberait, par suite de la rupture de l'estomac. Que dirait-on d'un expérimentateur qui, après avoir fait cette tentative, en conclurait que la viande est un poison pour l'organisme! » (*Archiv für Physiologie*, 1883, supplément, p. 224.)

§ 12. *Fränkel et Geppert*. — C'est un fait acquis également à la science que, dans la dépression progressive, les accidents sont dus à la tension de l'oxygène devenant trop faible pour continuer à exercer son rôle nutritif, dans les tissus. L'anoxyhémie du Dr Jourdanet est un état comparable à celui qui résulte de l'asphyxie en vase clos.

D'après Paul Bert cet état d'anoxyhémie dans lequel la composition du sang est altérée se manifesterait dans l'organisme vivant lorsque la pression descend à 56 centimètres. Fränkel et Geppert<sup>1</sup>, en adoptant une méthode expérimentale des plus précises, ont repris les expériences du physiologiste français et ont établi que l'altération du sang, sous l'influence de la dépression, ne se produit qu'aux pressions inférieures à 30 centimètres et que la mort survient seulement au-dessous de 18 centimètres.

Il résulte de cette correction que c'est seulement à une altitude de 7430 mètres, dans l'atmosphère où la tension est de 30 centi-

1. Fränkel und Geppert, *Ueber die Wirkung der verdünnten Luft auf den Organismus Experimental*. Untersuchungen mit 1 Tafel. Berlin.

mètres que devraient commencer à se produire les malaises du *mal des montagnes ou des ballons*, si la diminution de la pression en était la seule cause, et que c'est à l'altitude presque double, c'est-à-dire à 15 064 mètres, où la tension atmosphérique est 18 centimètres, que les accidents de la dépression détermineraient la mort.

Les travaux de Fränkel et Geppert ont eu surtout comme résultat scientifique de corriger une évaluation faite par Paul Bert, sans infirmer le fait fondamental établi par lui, à savoir : qu'à partir d'une pression  $h$  inférieure à  $H$ , pression barométrique moyenne, la composition du sang est altérée. Cette altération et les accidents qui en résultent pour les animaux sont identiques à ceux qui se produiraient dans leur asphyxie en vase clos, lorsque par suite de son épuisement, l'oxygène, dans l'air comprimé, n'aurait plus qu'une tension égale à sa tension dans l'air à la pression  $h$ .

Pourquoi le mal des montagnes et le mal des ballons se manifestent-ils à des altitudes bien inférieures à celle où la pression atmosphérique est de 30 centimètres? Comment, dans l'ascension du *Zénith*, Croce-Spinelli et Sivel ont-ils péri pour s'être élevés à 8540 mètres, altitude où la pression atmosphérique est de 27 centimètres, supérieure de 20 centimètres encore au point de dépression théoriquement mortelle?

A ces points d'interrogation Paul Bert n'a pas donné de réponses et la science n'a guère progressé dans la voie où sans doute elles se trouvent.

§ 13. *Karl B. Lehmann*. — Les recherches de Karl B. Lehmann de Zurich <sup>1</sup>, dont les résultats sont le plus souvent concordants avec ceux de P. Bert, sont particulièrement intéressantes.

« Les résultats relatifs aux effets produits par la décompression chez les animaux à sang chaud sont, écrit Lehmann, en plus d'un point différents des résultats que j'ai recueillis sur les animaux à sang froid. » Il s'agit ici d'expériences sur les grenouilles que l'auteur de la *Pression barométrique* n'a pas beaucoup multipliées, particulièrement au point de vue où s'est placé surtout M. K. B. Lehmann, quand il fait l'étude comparée des battements du cœur des grenouilles dans différents gaz comprimés (oxygène, azote,

<sup>1</sup> *Ueber den Einfluss des Comprimirtem Sauerstoffs auf die Lebenprocesse der Kalt hält und auf einige Oxydationen*. Zurich, 1883, et Pflügers, Archiv. 1884.

hydrogène) et dans des milieux à température plus ou moins basse mais non comprimés. Les effets de la compression paraissent être semblables à ceux de ces mêmes milieux refroidis.

Je ne répéterai pas ici ce que j'ai dit au paragraphe 8 en réponse à cette assertion de l'éminent professeur de Zurich : « Les souris non plus ne présentent point du tout de convulsions dans l'oxygène comprimé. » C'est précisément de souris qu'il s'agit dans mes expériences du chapitre V. Mais où je penche à penser comme M. Lehmann c'est quand il nie l'effet réellement toxique de l'oxygène comprimé. « Puisque le refroidissement ne favorise point les effets toxiques, avance l'auteur entre autres arguments, l'oxygène ne doit pas être considéré comme toxique. » Il ajoute : « la cessation des fonctions vitales, de l'échange gazeux, semble vraisemblablement avoir pour cause la difficulté des échanges nutritifs dans les tissus, ainsi que le pensait Pflüger. »

Ainsi que l'a fait remarquer M. Dastre dans sa leçon d'ouverture en 1887 : « L'élève de L. Hermann, en répétant les expériences de Paul Bert, les confirme dans leurs traits généraux. La plus grosse divergence est relative, en somme, à l'opportunité d'employer le mot « poison » pour caractériser l'effet funeste de l'oxygène comprimé. »

§ 14. *D<sup>r</sup> von Liebig*. — Nous devons citer les très intéressantes recherches du D<sup>r</sup> G. von Liebig qui, dirigées surtout dans le sens des applications thérapeutiques, établissent expérimentalement des faits du plus haut intérêt relatifs aux actions mécaniques de l'air respiré à pression augmentée ou à pression diminuée.

Le D<sup>r</sup> v. Liebig rend justice à la valeur des travaux de P. Bert sur l'action de la pression. Il s'exprime à peu près en ces termes dans une des notes qu'il a publiées sur les effets de la pression diminuée<sup>1</sup>.

Si les expériences de P. Bert ne peuvent servir de preuve, que le pouvoir assimilateur du sang pour l'oxygène diminue dans d'aussi fortes proportions qu'il le dit sous pression diminuée, ou que la raréfaction de l'oxygène dans les régions élevées suffit à elle toute seule pour entraîner de telles différences, néanmoins ses expé-

1. *Ein Apparat zur Erklärung der Wirkung des Luftdruckes auf die Athmen*, von D<sup>r</sup> G. von Liebig in Reichenhall in München (*Archiv für Physiologie*, von D<sup>r</sup> du Bois Reymond, 1879, p. 299).

riences ont une signification sans égale. Elles nous montrent, dans le cas de décompression lente et progressive, la diminution de l'oxygène dans le sang, et nous expliquent comment cela peut se produire dans le mal des montagnes, et comment cette diminution plus ou moins grande d'oxygène correspond aux phénomènes plus ou moins graves qui accompagnent la respiration à de hautes altitudes.

Dans la même note l'auteur rend compte d'un certain nombre de travaux par lesquels il a établi la loi qui régit le courant du fluide respiratoire pendant son passage dans les poumons, lorsque la pression diminue.

Son procédé pour vérifier expérimentalement les faits établis mathématiquement est particulièrement intéressant.

L'air sort d'un espace où la pression est  $p'$  pour entrer dans un espace où la pression est  $p''$ , avec une vitesse que donne la formule

$$V = C \sqrt{\frac{p' - p''}{p'}} \quad (1)$$

où  $C$  représente la vitesse de l'air ordinaire pour passer dans le vide.

Soit  $b$  la pression de l'air que nous respirons,  $\pi$  la force de tension des poumons,  $b + \pi$  est la pression dans les poumons pendant l'expiration, et ce terme correspond à  $p'$  de la formule (1) où  $p'' = b$ .

Si donc  $b + \pi = p'$ , en remplaçant ce dernier terme par sa valeur, le numérateur de la formule (1) devient :  $b + \pi - b = \pi$ ,

et :

$$V = C \sqrt{\frac{\pi}{b + \pi}}$$

Que la pression extérieure devienne  $b'$ , la vitesse de sortie de l'air  $V'$  sera :

$$V' = C \sqrt{\frac{\pi}{b' + \pi}}$$

$$\frac{V}{V'} = \frac{\sqrt{b' + \pi}}{\sqrt{b + \pi}}$$

Les vitesses de l'air sortant du poumon sont donc inversement proportionnelles aux racines carrées de la somme de la pression barométrique et de la force de tension dans les poumons.

Mais les temps  $t$  et  $t'$  (durée des expirations) nécessaires à cette sortie sont eux-mêmes inversement proportionnels aux vitesses  $V$  et  $V'$ , ainsi que cela résulte des recherches du Dr Liebig; on a donc :

$$\frac{t}{t'} = \frac{\sqrt{b + \pi}}{\sqrt{b' + \pi}}$$

En prenant, comme l'auteur le fait d'après Donders, pour  $\pi$ , la moyenne entre la tension maxima à 30 millimètres et cette même tension minima à 6 millimètres,  $\pi = 18$  millimètres.

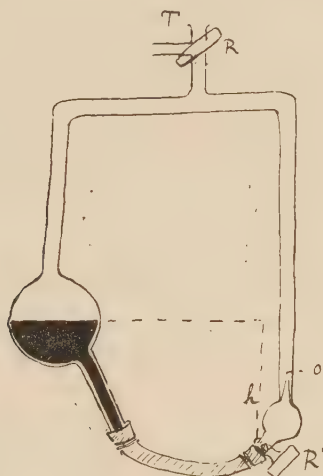


Fig. 9. — Appareil du Dr von Liebig de Munich servant à mesurer la vitesse de sortie du gaz par les fines ouvertures sous diverses pressions.

L'application de cette formule donne les résultats numériques suivants, dans le cas où l'on donne des valeurs variables à  $b$  :

|                                                      |       |       |       |
|------------------------------------------------------|-------|-------|-------|
| Quand les pressions sont successivement.....         | 604,5 | 508,9 | 411,6 |
| La durée correspondante de la sortie de l'air est de | 99",3 | 92",5 | 85",3 |

L'appareil permettant de contrôler ces nombres est très ingénieux et des plus simples.

La figure 9 le représente. Le diamètre relatif des deux ballons est tel, que s'ils sont dans la position où ils sont figurés, le robinet  $R$  étant fermé et le robinet  $R'$  ouvert, quand le petit ballon s'est rempli de mercure, l'abaissement du niveau dans le grand ballon est insensible.

Voici comment on opère. Par le tube supérieur on verse du mercure, le robinet  $R'$  est fermé, l'appareil penché de façon à ce que le mercure tombe du côté du grand ballon. On donne la valeur voulue à la hauteur  $h$ . Puis on fait le vide par le tube  $T$ , jusqu'à obtenir une pression convenable évidemment égale dans les deux ballons. On ferme le robinet  $R$ .

On ouvre  $R'$ , le mercure remplit le ballon  $R$  dans un temps qu'on mesure.

On donne, dans une série d'expériences, des valeurs successives différentes à la dépression.

Pour des pressions décroissantes, les nombres correspondant à une certaine pression, calculés par la formule, mesurés ensuite dans l'appareil, et représentant la vitesse de sortie de l'air par l'ouverture  $O$  sont les suivants :

|                                           |       |       |       |       |
|-------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Pour des pressions de.....                | 711.2 | 604,5 | 508,9 | 441,6 |
| L'air sort du ballon avec des vitesses de | 106.2 | 99",2 | 93",2 | 87",2 |
| Le calcul donne les vitesses de.....      | »     | 99",3 | 92",5 | 85",3 |

Pour suivre fidèlement l'auteur dont nous parlons ici, nous présentons encore les résultats numériques tels qu'il les donne en attribuant la valeur 100 à la pression normale, et la valeur 100 à la vitesse correspondante de l'air. Voici les nombres dans le cas de pressions décroissantes :

|                          |      |       |       |       |
|--------------------------|------|-------|-------|-------|
| Pressions.....           | 100  | —100  | —200  | —300  |
| Vitesse { Expérience.... | 100" | 93",5 | 88",5 | 82",7 |
| { Calcul.....            | 100" | 93",5 | 88",5 | 79",9 |

En appliquant cette méthode au cas des pressions croissantes, le D<sup>r</sup> Liebig trouve :

|                                   |      |        |        |        |
|-----------------------------------|------|--------|--------|--------|
| Pressions.....                    | 100  | 200    | 300    | 400    |
| Vitesse de l'air { Expérience.... | 100" | 106",2 | 111",4 | 116",8 |
| { Calcul.....                     | 100" | 106"   | 111",1 | 117",2 |

L'inspiration, plus pénible quand la pression diminue, est facilitée quand la pression croît.

Il résulte de cette loi établie par le D<sup>r</sup> Liebig, que l'influence de la pression elle-même intervient dans une ascension en ballon ou en montagne ; dans la première, la vitesse de la montée, et dans la dernière la fatigue musculaire, le vertige, etc., s'ajoutent aux phénomènes d'asphyxie pour aider le développement plus ou moins prompt, suivant les individus, du mal des montagnes et du mal des ballons.

Le même auteur a observé que le malaise disparaissait avec le temps, et qu'un même individu pouvait par entraînement vivre sans y mourir à des altitudes de plus en plus élevées.

Un travail plus récent signé du même nom<sup>1</sup> nous apprend que la dilatation du poumon résultant de la respiration sous pression augmentée, aussi bien que la diminution de la cavité pulmonaire résultant de la respiration sous pression diminuée, pouvait amener une augmentation ou une diminution du calibre de la cavité pulmonaire demeurant acquises pour un nombre plus ou moins grand de jours ou de semaines.

Le lien entre ces deux notes est facilement saisissable.

Au moment même de son arrivée à grande hauteur, s'ajoutent chez l'aéronaute ou l'ascensionniste, aux phénomènes précurseurs de l'anoxyhémie, des accidents dus à l'insuffisance de la capacité pulmonaire. Au début de séjours prolongés dans les cloches à plongeurs ou dans les tubes, la respiration paraît s'effectuer mieux. C'est qu'en même temps la cavité respiratoire augmente et la cavité abdominale diminue de volume, ce qui est conforme aux affirmations de Paul Bert. Ce dernier, en effet, a trouvé que sur des chiens le diaphragme comblait, dans certains cas,  $\frac{1}{3}$  de l'espace rendu libre, dans l'abdomen, par l'effet de la rétraction de cette cavité.

A toutes les altitudes, depuis le fond des mers jusqu'aux plus grandes hauteurs de l'atmosphère, c'est donc la vitesse trop grande de l'ascension qui est dangereuse, seulement c'est par minutes que doit se compter le temps raisonnable de la montée quand il s'agit de l'effectuer dans l'eau, tandis que c'est en plusieurs jours que doit s'opérer le déplacement ascensionnel dans les couches atmosphériques.

En résumé, pour ce qui concerne l'action exercée sur les animaux par l'air comprimé, déprimé ou décomprimé, les grands principes posés par Paul Bert demeurent acquis à la science.

Si nous ne devons pas restreindre cet historique, nous aurions encore à le compléter en parlant des autres questions que Paul Bert a également abordées, dans son ouvrage sur la *Pression barométrique*.

1. *Beobachtungen über das Atmen unter dem erhöhten Luftdruck*. Von Liebig. Archiv. für Physiologie von Dr Dubois Reymond, 1889, supplément, p. 41.

Mais ce serait sortir de notre sujet que de parler de l'action de l'air comprimé, sur les végétaux, ou bien d'énumérer les recherches sur les fermentations, sur le développement des larves animales ou des œufs fécondés, etc.

§ 15. *Disciples de Paul Bert.* — J'ai dit que bien des savants s'étaient intéressés à l'action de l'air comprimé depuis le temps où Paul Bert était particulièrement aidé, dans son laboratoire, de MM. Jolyet et Gréhan.

En prenant comme point de départ les conclusions que Paul Bert tire de ses expériences sur les ferments quand ils sont soumis à l'action de l'air comprimé <sup>1</sup>, M. le professeur A. Dastre a étudié les propriétés physiologiques des sucs digestifs pendant la compression.

Une pression suffisamment élevée détruisant l'action des ferments figurés, les sucs digestifs perdent-ils une partie de leur activité propre quand ils ont été comprimés?

Les expériences étaient exécutées en plaçant dans l'obus de Paul Bert (modifié pour la circonstance et rempli d'oxygène à 15 atmosphères) des tubes à digestions artificielles gastriques, pancréatiques, intestinales. — L'appareil était mis à l'étuve à 40°. — On étudiait comparativement les quantités digérées en présence de l'oxygène comprimé à l'air libre.

Pour ce qui concerne les albuminoïdes et amylacés, les quantités digérées en présence des microbes ont été plus considérables de  $\frac{1}{5}$  à  $\frac{1}{8}$ , soit que les microbes intestinaux intervinssent effectivement pour favoriser la digestion, soit que l'oxygène comprimé anéantit l'activité des ferments solubles.

Les travaux du successeur de Paul Bert dont nous faisons mention ici prouvent donc que les micro-organismes contenus dans les liquides sécrétés par les glandes propres ou annexes de l'intestin remplissent un rôle dans le travail de la digestion, mais ce sont les ferments solubles des sucs digestifs qui agissent surtout.

Si les ferments figurés ont un rôle dans la chimie digestive, ce rôle n'est donc pas d'une importance capitale.

Sous ce titre *sur les lésions de la moelle épinière dans la maladie des plongeurs* <sup>2</sup> :

1. *Pression barométrique*, 2<sup>e</sup> partie, chap. VI, sous-chap. II, p. 909.

2. *Compte rendu de la Société de biologie* (7), t. II, p. 253, 1881. — *Gazette médicale* (6), t. II, p. 443, 1881.

MM. R. Blanchard, professeur agrégé de la Faculté de médecine de Paris, et M. le professeur Paul Regnard ont étudié en opérant sur une vingtaine de chiens, à l'aide des appareils à air comprimé de Paul Bert, le processus morbide connu sous le nom de mal des plongeurs, déjà bien établi par leur maître en ajoutant des faits nouveaux faisant connaître les lésions subies par les organes et spécialement par la moelle épinière.

Voici le résumé de l'une des expériences réalisées par ces deux savants :

« Un chien de sept kilos est comprimé à 7 atmosphères  $1/4$  ; au bout de quelque temps, on le décomprime brusquement en quinze secondes. Le train postérieur se paralyse complètement. Quelques jours plus tard, les lésions fonctionnelles qui sont le cortège de la paraplégie se sont bien établies : l'animal marche sans trop de peine en traînant comme une masse inerte ses membres postérieurs, dont la face dorsale est en contact immédiatement avec le sol et s'ulcère. Néanmoins, l'animal finit par se rétablir. Au bout de quelques semaines, on le tue par piqûre du bulbe. On enlève la moelle pour en pratiquer l'examen.

Les lésions observées peuvent être rangées sous plusieurs chefs.

De petits foyers hémorragiques se rencontrent dans la substance grise seulement et sur toute la longueur de l'axe gris ; elles sont toujours circonscrites. De la myélite parenchymateuse se présente avec tous ses caractères ordinaires. Elle occupe les régions les plus diverses de la substance blanche et présente le plus souvent une très grande étendue.

Malgré d'aussi graves désordres, l'animal ne présentait, à la dernière période de sa vie, aucun trouble fonctionnel appréciable. On peut considérer ce fait comme la démonstration directe de ce que, dans la moelle, la transmission nerveuse n'exige pas le concours d'un grand nombre de filets nerveux, mais qu'un très petit nombre de filets suffisent parfaitement à l'établir : au milieu de vastes foyers de myélite que présentait cette moelle dans la première région dorsale, quelques rares filets nerveux étaient demeurés intacts et ils suffisaient à assurer l'intégrité du fonctionnement de l'organe. » — (*Notice sur les titres et travaux scientifiques de M. le Dr Raphaël Blanchard, Professeur agrégé à l'École de médecine de Paris — 1890.*)

M. le D<sup>r</sup> P. Regnard a réalisé une longue série d'expériences montrant les effets de la pression transmise à travers l'eau.

Il est arrivé à cette conclusion bien intéressante : de même que dans l'air la pénétration dans l'organisme du gaz en excès est la cause principale des accidents, de même l'eau qui agit sous pression élevée, s'intercale aux éléments anatomiques, causant des effets non moins contraires au fonctionnement des organes que l'oxygène de l'air, pour les êtres aériens.

M. le professeur P. Regnard a communiqué soit à l'Académie des sciences, soit à la Société de Biologie, de nombreuses notes relatives à l'influence des hautes pressions sur les organismes vivants dans l'eau ; ces observations réunies dans l'ouvrage sur *la Vie dans les eaux*<sup>1</sup>, portent principalement sur les organismes marins. Nous ne pouvions nous attacher spécialement à ce point, sans sortir par trop de notre sujet ; citons pourtant quelques faits particulièrement intéressants à signaler.

M. le D<sup>r</sup> P. Regnard a réalisé ces premières expériences à l'aide d'un appareil que lui avait prêté M. Cailletet. Il a lui-même modifié de diverses manières cet appareil, qui lui a permis de réaliser des pressions supérieures à 1000 atmosphères (fig. 10), en voici les résultats<sup>2</sup> :

Compression de la levure de bière à 1000 atmosphères pendant une heure. Après ce temps, la levure est mise en contact avec de l'eau sucrée. La levure n'était pas tuée, mais seulement tombée en état de vie latente dont elle s'est réveillée après une heure pour déterminer le commencement de la fermentation du sucre.

Sous pression de 700 atmosphères la levure de bière a été mise en contact d'eau sucrée. Pendant les sept heures qu'a duré la compression, il n'y a pas eu de fermentation. Une heure après la décompression, la fermentation a commencé.

Les *ferments solubles* ne sont pas influencés par la pression, l'amidon est encore transformé en sucre à 1000 atmosphères. Ce

1. *Note sur les conditions de la vie dans les profondeurs de la mer* (Regnard, *Comptes rendus de la Société de Biologie*, 1884, p. 164). — *Recherches expérimentales sur l'influence des différentes pressions sur les organismes vivants* (Regnard, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, vol. 98, p. 745). — *Note relative à l'action des hautes pressions sur quelques phénomènes vitaux* (Regnard, *Comptes rendus de la Société de Biologie*, 1884, p. 187). — *Effets des hautes pressions sur les animaux marins* (Regnard, *Comptes rendus de la Société de Biologie*, 1884, p. 394). — *Société de Biologie*, 1885, p. 48 et 510.

2. *La vie dans les eaux*, par le D<sup>r</sup> P. Regnard, 1892.

résultat confirme en les complétant ceux que M. Dastre a obtenus et dont nous avons parlé ci-dessus. Si les ferments solubles ne sont pas altérés par la compression, le rôle des micro-organismes dans la digestion, tout en restant secondaire, est bien établi.

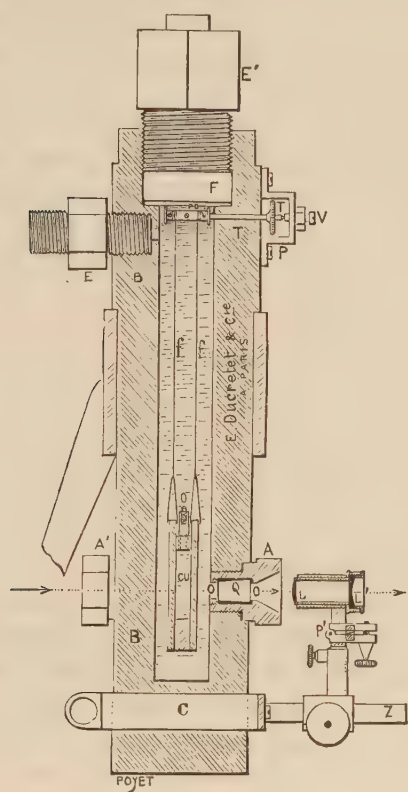


Fig. 10 — Bloc de Regnard percé de hublots en quartz A et A' pour l'étude de l'action des hautes pressions sur la vie.

Des *algues* ont été soumises à la pression de 600 atmosphères pendant dix minutes. Elles sortent de l'eau gonflées et ne germent qu'après une semaine.

*Eau croupie.* — Dans cette eau vivent un grand nombre d'infusoires qui sont soumis à la pression de 600 atmosphères pendant trente minutes. Après la décompression, les animalcules sont immobiles, mais se reprennent rapidement à bouger.

Les *mollusques* soumis aux mêmes conditions d'expériences que

les infusoires précédents se sont comportés d'une manière identique.

Des *sangsues*, après avoir supporté la pression de 600 atmosphères, sortent rétractées, en état de mort apparente, mais se réveillent après quelques heures sans lésions reconnaissables.

Des *crustacés* (*Daphnis* et *Cypris*) tombent endormis en cinq minutes, mais se réveillent moins d'un quart d'heure après la décompression.

Pour les *poissons*, les résultats diffèrent. La vessie natatoire de ceux de ces animaux qui en étaient pourvus a été préalablement vidée sous la machine pneumatique. Indifférents à la pression de 100 atmosphères.

Endormis par la pression de 200 atmosphères, ils se réveillent vite.

A 300 atmosphères, mort.

A 400 atmosphères, mort et rigidité, se putréfient sans perdre leur rigidité.

M. A. Milne-Edwards a remarqué que les poissons de surface se rencontrent encore à 1000 mètres et 2000 mètres de profondeur, où la pression est de 10 à 20 atmosphères. Au delà, la forme change. C'est vers la profondeur de 3000 mètres que surviennent les accidents graves aux poissons de surface.

Les muscles des *pattes de grenouilles* sous la pression de 20 atmosphères conservent leur flexibilité qui devient moindre à 200 atmosphères. A 300 atmosphères, l'excitabilité des muscles est à peine conservée et ces organes deviennent rigides et cassants à 400 atmosphères. De plus, à mesure que la rigidité des muscles augmente, leur poids augmente ainsi que leur volume.

M. R. Dubois <sup>1</sup> a montré que la luminosité n'était pas sensiblement modifiée par l'action des pressions élevées ou abaissées, chez les pyrophores assez indifférents aux pressions auxquelles ce savant les a soumis. Ce fait est donc en harmonie avec l'ensemble des conclusions de l'auteur, qui a prouvé que la production de lumière chez les animaux est un phénomène d'ordre purement vital et non un phénomène de phosphorescence.

1. R. Dubois, *Thèse*, 1886, Paris.

§ 16. *Travaux divers.* — D'autres travaux ayant trait à l'action de la pression atmosphérique sont ici passés sous silence parce qu'ils sortent plus ou moins de mon sujet proprement dit, telles sont par exemple : les recherches de *M. Luchorsky* (*Zur Lehre, von der Wirkung verdichteter Subst auf die Respiration*, — *Centralblatt, E. d. med. Wissenschaften*, — 1884, — n° 27); Les notes communiquées par *M. Certes*, soit à l'Académie des sciences ou à la Société de biologie (action des hautes pressions sur la vitalité de la levure et sur les phénomènes de la fermentation. — *Comptes rendus de la Société de biologie*, 1880, — p. 220, etc.). La communication faite à l'Académie des sciences sur la culture à l'abri des germes atmosphériques des eaux et des sédiments rapportés par les expéditions du Travailleur et du Talisman (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, — vol. 98, p. 690).

Je citerai pour terminer, et parce que *Paul Bert* a consacré un chapitre spécial à l'action de la pression sur les végétaux, deux publications très intéressantes faites après lui sur ce dernier sujet de recherches.

C'est par ordre de date, d'abord le travail de *M. Von W. Johannsen*, assistant au laboratoire Carlsberg à Copenhague : *Ueber den Einfluss hoher sauerstoffspannung auf die Kohlensäureausscheidung einiger Keimpflanzen*, — 1884, où, comme le fait prévoir ce titre, l'auteur a recherché l'action des hautes pressions sur les phénomènes vitaux des plantes, inscrivant en frontispice du tirage à part qu'il a fait paraître ces lignes en français :

« L'augmentation de la pression barométrique  
n'agit qu'en augmentant la tension de l'oxygène.... »

PAUL BERT.

Enfin tout récemment *M. Paul Jaccard* a fait au laboratoire de Botanique de la Sorbonne, sous la direction de *M. le Professeur Gaston Bonnier*, un travail ayant pour sujet l'Influence de la pression des gaz sur le développement des végétaux <sup>1</sup>, où l'auteur arrive à cette conclusion : *Bien que la tension de l'oxygène joue un rôle prépondérant dans le phénomène, la pression totale a aussi une action manifeste; l'action qu'exerce la pression de l'air dans les limites compatibles avec l'existence des êtres, n'est pas la même chez les végétaux pourvus de chlorophylle que chez les animaux.*

1. *Revue générale de botanique*, dirigée par *M. Gaston Bonnier*, t. V, livraisons 55 à 57, 1893.

§ 17. *Conclusion.* — L'œuvre de Paul Bert survit et repose sur des bases solides modifiée seulement dans plusieurs de ses détails. Ainsi il est possible, probable même, que l'oxygène comprimé n'est pas un corps toxique, quoique identique en ses effets à tel ou tel poison.

Il n'en est pas moins vrai que les principes formulés par le successeur de Claude Bernard à la Sorbonne, relativement à l'action que produit sur les animaux l'oxygène par défaut ou par excès de tension, ont force de loi scientifique.

## CHAPITRE II

### APPAREILS EMPLOYÉS

---

SOMMAIRE : *Appareil à décompression instantanée. — Appareils pour l'observation de petits animaux placés in vitro.*

#### A. — Appareil à décompression instantanée.

§ 1. — Au début de mes recherches, j'ai employé deux appareils qui se trouvaient au laboratoire de physiologie générale du Muséum.

Le premier était un récipient clos, dont la capacité permettait de recevoir des chiens de taille moyenne, le second un vase de verre ayant la forme et le volume d'un appareil à eau de Seltz; dans ce dernier, les animaux de petite taille pouvaient être vus du dehors, pendant les expériences.

C'est dans le premier de ces deux récipients que mon maître, M. le D<sup>r</sup> N. Gréhant, avait au cours de ses leçons répété quelques expériences de Paul Bert, sous les yeux du public. — Le second appareil avait servi au D<sup>r</sup> Moreau, dans ses expériences sur la vessie natatoire des poissons.

Bien qu'il fût construit pour résister à dix ou douze atmosphères, je ne pouvais obtenir, dans le grand récipient, des pressions supérieures à 8 atmosphères; je cherchais alors le moyen de me procurer une compensation en le rendant capable de produire une décompression plus rapide, espérant obtenir ainsi des effets analogues à ceux que des appareils plus puissants, mais à décompression plus lente, avaient fournis ailleurs.

Les résultats que je souhaitais obtenir n'avaient-ils pas été réalisés une fois par Paul Bert, dans l'expérience où, par suite d'une explosion, l'animal soumis à la pression de neuf atmosphères

et demie avait été instantanément ramené à la pression ordinaire ? (Expérience XLVIII, déjà citée p. 27).

Je transformai alors l'appareil du laboratoire ainsi que je l'indique dans le paragraphe suivant, et les résultats consignés dans la suite du présent travail prouvent que mes prévisions étaient fondées.

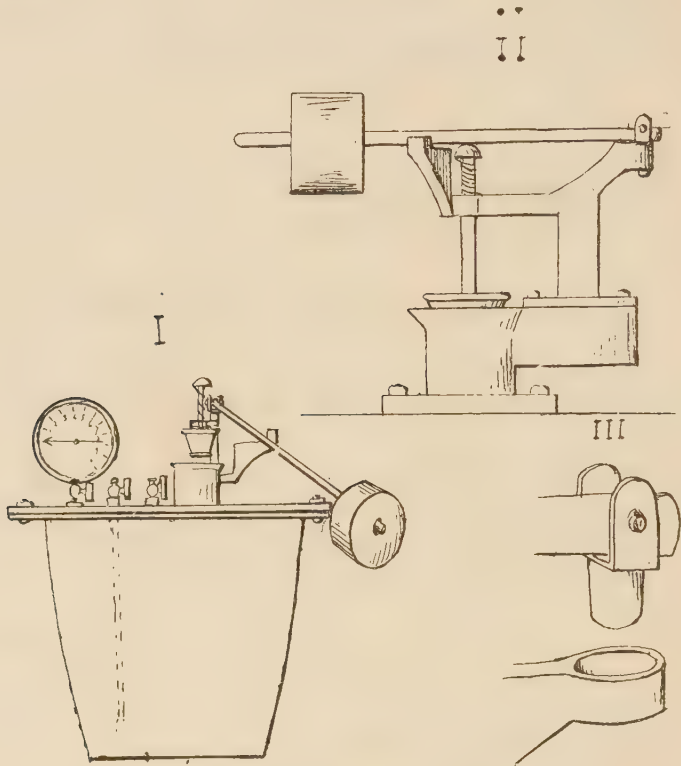


Fig. 11. — Appareil permettant une décompression brusque très rapide comparable en vitesse à celle d'une explosion. — I, ensemble de l'appareil (récipient, son couvercle boulonné, soupape de grande dimension, levier mobile horizontalement et verticalement, manomètre et robinets). — II, levier tenant la grande soupape fermée et appui du levier, dans le cas où la soupape est librement ouverte. — III, pivot sur lequel tourne le levier quand il cesse de peser sur la tête de la soupape.

§ 2. *Description de l'appareil à décompression instantanée.* — Cet appareil se compose d'une chaudière de 23 litres, pouvant être hermétiquement close au moyen d'un couvercle fortement boulonné. Au travers du couvercle sont pratiquées quatre ouvertures. Trois d'entre elles sont chacune pourvues d'un robinet, la

quatrième est un corps de pompe dans lequel s'engage une soupape analogue aux soupapes dites *de sûreté*, très semblable à la soupape de la marmite de Papin (fig. 11 et 12).

Le premier robinet est réduit à son ajutage même. Il est destiné à mettre le récipient en communication avec la pompe qui y foule le gaz.

L'ajutage du second robinet se prolonge, sous forme tubulaire, jusqu'au fond du récipient, de sorte que les gaz qui pénètrent par

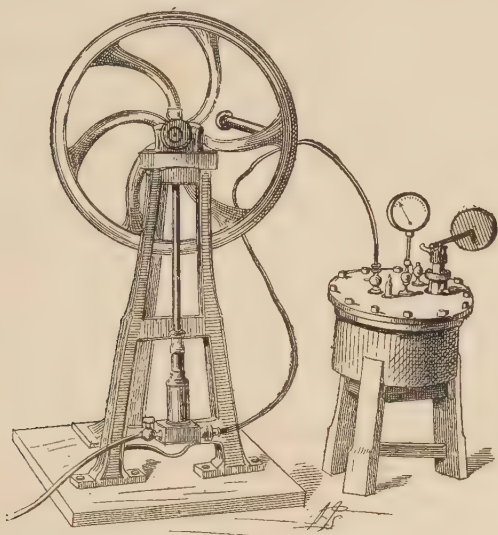


Fig. 12. — Récipient de bronze permettant la décompression lente ou la décompression brusque à volonté. — Il est en communication avec la pompe aspirante et foulante de M. Golaz.

le robinet précédent ne peuvent sortir du récipient qu'après y avoir pénétré jusqu'au fond.

Le troisième ajutage porte, extérieurement, un manomètre de Bourdon, indiquant, à tout instant, la pression à laquelle se trouve le gaz contenu dans l'appareil.

La soupape constitue la partie la plus importante de l'appareil. Son orifice est un corps de pompe vertical, ayant 5 centimètres de diamètre, dans lequel s'engage le piston faisant fonction d'une soupape qui se soulève de bas en haut. Ce piston a la forme d'un tronc de cône; il est fait de cuir pressé entre deux disques métalliques; sa section transversale moyenne est égale à celle du corps

de pompe. Sa tige joue verticalement dans un guide annulaire exactement situé au-dessus du corps de pompe; elle est entourée d'un ressort à boudin, disposé de telle façon qu'à la pression ordinaire, il tienne le piston soulevé, laissant, par conséquent, le corps de pompe librement ouvert.

Sur la tête du piston vient s'appuyer un levier qui, lorsqu'il est horizontal, maintient la soupape dans l'orifice qu'il ferme. Un poids court sur ce levier, produisant un effet d'autant plus énergique de haut en bas, qu'il est plus éloigné de la tête du piston. La charnière, placée au point fixe du levier, permet à celui-ci d'être soulevé à volonté dans le plan vertical et d'être en même temps rejeté de côté.

Il résulte de cette disposition que, si l'on veut produire la décompression instantanée, il suffit, lorsque le manomètre indique la pression convenable, de soulever à la main le levier du côté du poids et de le rejeter vivement dans le sens latéral. La soupape se soulève aussitôt et l'équilibre s'établit, presque instantanément, entre l'intérieur du récipient et l'air atmosphérique.

Si, préalablement, un animal a été placé dans le récipient, en moins d'une demi-minute, après la décompression, temps nécessaire à dévisser les écrous qui maintiennent le couvercle du récipient, cet animal peut être soumis à l'observation dans l'air libre.

L'avantage de cet appareil est bien de pouvoir produire une décompression presque aussi rapide qu'une explosion. Il en a pourtant un autre qui a sa valeur : c'est que d'un prix relativement modéré il permet de répéter la plupart des expériences de Paul Bert sur la compression et la décompression, si bien que lorsque j'en ai présenté la description à l'Académie des sciences, je l'ai appelé : *Appareil permettant de répéter facilement les expériences de Paul Bert, sur l'air et l'oxygène comprimés.*

Quant à son principal inconvénient, c'est de ne pas permettre l'observation de l'animal, pendant qu'il est sous pression.

§ 3. *Effets de l'appareil précédent.* — La comparaison entre l'expérience DLXIV que je copie dans l'ouvrage *la Pression barométrique* et celle qui, dans mon travail, porte le n° d'ordre XII, dont je donne ci-après les phases parallèlement à la première, montre clairement les effets obtenus à l'aide du récipient à large soupape, décrit plus haut.

Exp. DLXIV. 12 juin. — Jeune chien blanc de petite taille très bien portant. — Placé dans le grand cylindre; amené rapidement à *cinq atmosphères et demie* de pression. Maintenu sous cette pression avec courant d'air pendant *quatre heures*.

L'animal paraît fort tranquille pendant tout ce temps.

*Décomprimé en vingt secondes.*

Sorti de l'appareil il s'échappe en courant et l'on a la plus grande peine à le reprendre.

Le chien gardé en observation pendant plusieurs jours, *ne présente aucun accident consécutif*.

(Pression barométrique, p. 952.)

Exp. XII. — Un chien pesant 5 kil. 5 est placé dans le grand récipient à 4 h. 15. On comprime de l'air à l'aide de la pompe Golaz. A 4 h. 25 la pression est six atmosphères; l'appareil fuyant légèrement, elle est maintenue entre six et cinq et demie.

A 5 heures, l'animal s'agite légèrement.

A 5 h. 20, *décompression instantanée*.

A sa sortie de l'appareil le chien est mourant.

Meurt à 5 h. 23 sans convulsions.

(La compression a duré *une heure*, dont 55 minutes à la pression maxima de *cinq atmosphères et demie*.) — (P. 59).

## B. — Appareils permettant d'observer les petits animaux pendant la compression.

§ 4. *Récipient de verre à décompression.* — Avant de me servir du dispositif décrit au paragraphe suivant, auquel je me suis fixé définitivement, par la suite, j'ai fait usage, ainsi que je l'ai dit, d'un récipient faisant partie du matériel du laboratoire de physiologie générale du Muséum.

C'était un ballon de forme ovoïde (fig. 13), ayant une capacité d'environ un litre et demi, entouré d'un filet métallique, sur la large encolure duquel était mastiquée une armature métallique à deux voies. L'une des voies était pourvue d'un robinet et pouvait, par l'intermédiaire d'un pas de vis, recevoir le tube de refoulement de la pompe Golaz; l'autre voie communiquait avec un manomètre.

La raison qui me fit abandonner cet appareil est trop instructive, au point de vue des effets de la décompression brusque, pour que je la passe sous silence.

Malgré la date relativement récente de l'expérience ci-après, la dernière que j'aie faite avec le récipient que je viens de décrire, je lui donne cependant le premier numéro d'ordre, non pas seulement pour les besoins de l'harmonie dans l'exposition écrite de mon

travail, mais encore parce que cette expérience est bien, à mon sens, une expérience préliminaire. Elle prouve, une fois de plus, combien les effets de la décompression réellement brusque sont

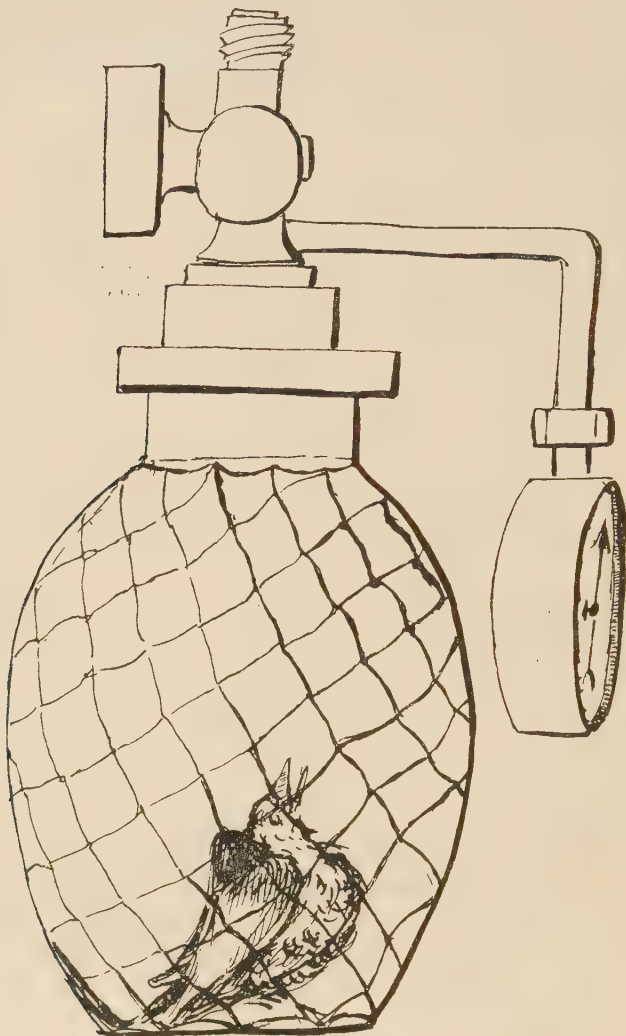


Fig. 13. — Récipient en verre entouré d'un filet métallique.

différents de ceux qui résultent de décompressions ralenties, les seules que les appareils de verre soient malheureusement capables de fournir.

EXPÉRIENCE I. — 4 h. 15. — Un bruant est placé dans l'appareil en verre, dans l'air, à la pression de six atmosphères. A 4 h. 20, rien de particulier ne s'est manifesté, l'animal est demeuré calme.

A 4 h. 20, décompression durant cinq minutes jusqu'à ramener la pression à quatre atmosphères. J'injecte immédiatement de l'oxygène dans l'appareil, jusqu'à y faire remonter la pression à six atmosphères. A 4 h. 30, l'oiseau secoue la tête et ouvre le bec, il vomit à peu près de minute en minute jusqu'à 4 h. 35. A 4 h. 45, les mouvements respiratoires sont très ralentis, l'animal crie, il bat ensuite des ailes, remue la tête et contracte son larynx comme s'il chantait. A 4 h. 50, l'état de l'animal ne s'est pas sensiblement modifié.

Décompression lente en deux minutes ne produisant aucun effet. Je manque d'oxygène, je continue l'expérience avec de l'air, ayant l'intention de prolonger le séjour de l'animal dans ce gaz, plus que je ne l'aurais fait dans l'oxygène, et de produire aussi une pression plus élevée. A 4 h. 55, j'introduis de l'air et je fais monter la pression à quatre atmosphères, le bruant devient immédiatement calme. A 5 heures, décompression brusque en quelques secondes, ne produisant aucun effet, du moins immédiat.

Je fais de nouveau monter la pression à huit atmosphères avec de l'air. Cette pression est maintenue jusqu'à 5 heures 30 sans que je remarque aucun signe de malaise chez l'animal, qui est toujours calme. A 5 h. 30, nouvelle décompression.

Au moment de la détente l'animal saute, puis il retombe au fond de l'appareil; il a les ailes pendantes. Je comprime de nouveau de l'air; la pression atteint dix atmosphères. Pendant la compression, l'animal est tranquille et paraît bien portant.

A 5 h. 40, l'appareil fait explosion. L'oiseau est projeté sur la table où se trouvait le récipient.

Il y tombe mort, sans que j'aie surpris un mouvement.

Je n'ai pas pratiqué l'autopsie de ce bruant, j'ai pourtant remarqué qu'il était assez fortement météorisé.

Cet accident m'a mis, par hasard, dans des conditions très analogues à celle de l'expérience décrite dans la *Pression barométrique*, dont j'ai déjà parlé plus haut. Quand l'appareil de la Sorbonne chargé d'air comprimé à neuf atmosphères et demie a fait explosion, le chien qui y était enfermé est mort foudroyé, comme mon bruant.

Je n'aurais pas parlé de cette expérience si elle ne m'avait pas fortifié dans la conviction que mon appareil à décompression brusque devait me donner des résultats nouveaux, tenant à la vitesse de la décompression qu'il peut produire.

Mais aussi rapide que soit cette détente, je me donne presque tort

de l'avoir qualifiée d'instantanée. L'explosion seule nous représente la décompression réellement instantanée et si elle constitue des conditions d'expérience qui soient irréalisables couramment, elle n'en donne pas moins le résultat le plus nettement caractérisé que produise la décompression instantanée sur les animaux placés dans l'air à haute pression.

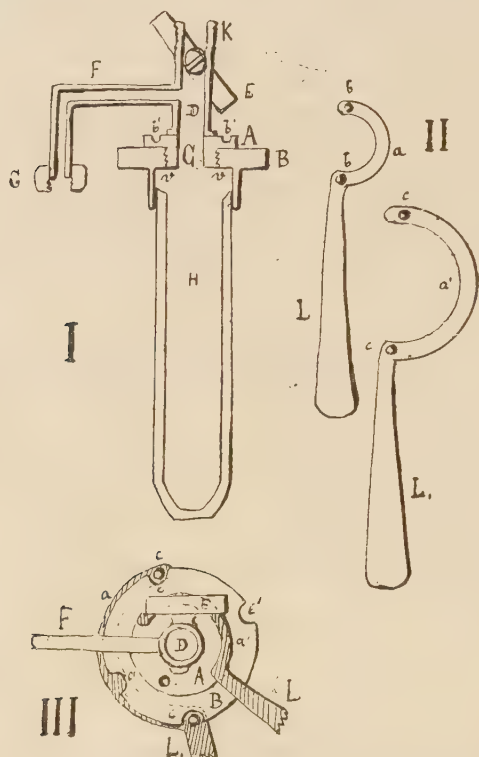


Fig. 14. — Éprouvette servant à l'étude des petits animaux. — I. *Projection verticale*. — A, disque de bronze vissé sur un second disque B. — B', manchon métallique auquel l'éprouvette H est cimentée. — G D, communication entre l'éprouvette et l'extérieur, pouvant être interceptée par le robinet E. — F, tube de communication avec le manomètre G. — K, pas de vis destiné à recevoir le tube de la pompe. — Écrou sur lequel se visse le manomètre. — II. *Clefs* servant à visser la pièce A sur la pièce B. — III. *Projection horizontale* avec les clefs placées pour agir. — Les douilles *b* de la clef *k* sont engagées dans les trous *b'* du disque supérieur, les douilles *c* de la clef *k* sont engagées dans les échancrures *c'* du disque B. — Pour serrer ou desserrer la vis *v*, on rapproche ou on éloigne l'un de l'autre les deux manches L L'.

§ 5. *Éprouvette à décompression*. — Je remplaçai l'appareil précédent par un dispositif nouveau dont voici la description :

Deux disques de bronze A et B (fig. 14 et 15) peuvent, au moyen

d'un système particulier de deux clefs, se visser l'une au-dessus de l'autre, de façon à ce qu'ils soient concentriques et que la face inférieure du disque supérieur soit très exactement appliquée sur la face supérieure du disque inférieur. Chacun de ces disques est percé d'une ouverture circulaire en son centre.

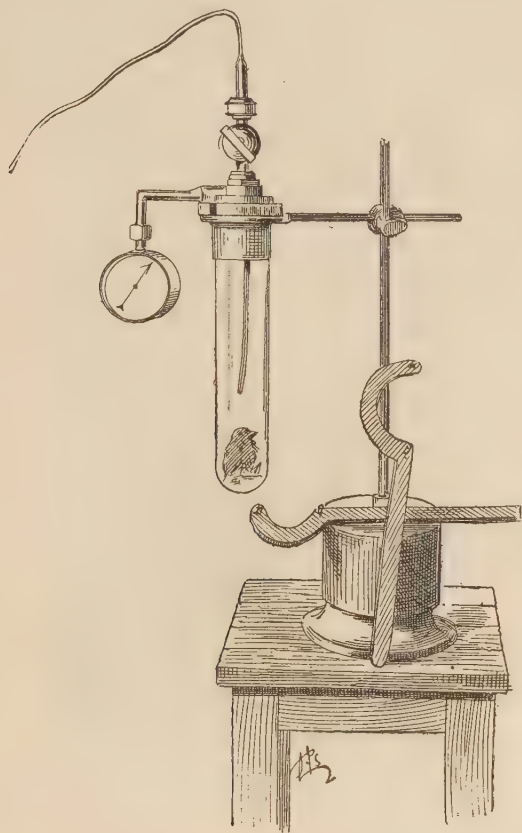


Fig. 15. — Éprouvette en communication avec la pompe Golaz et dans laquelle se trouve un moineau soumis à la compression. — Sur le pied de l'appareil, les 2 clefs à main permettant d'ouvrir ou de fermer l'appareil.

B coiffe une éprouvette en verre vert H à paroi très épaisse, à laquelle il est fortement mastiqué.

L'ouverture du disque supérieur se prolonge sous forme d'un canal D muni d'un robinet E, au moyen duquel on peut établir ou intercepter la communication entre l'éprouvette et l'extérieur. Le tube de la pompe de Golaz se visse au-dessus de l'orifice du

canal D. Celui-ci, d'autre part, communique librement avec un manomètre, par l'intermédiaire d'un tube F que termine un écrou G. On peut, au besoin, desserrer plus ou moins cet écrou et lui faire jouer ainsi le rôle d'un robinet à débit plus ou moins grand.

§ 6. *Fonctionnement de l'appareil précédent.* — L'usage de cet appareil se comprend facilement.



Fig. 16. — Éprouvette servant à l'étude des petits animaux soumis à de fortes pressions, protégée par son étui de fonte sur lequel on voit l'une des deux fenêtres diamétralement opposées dont est pourvu cet étui.

L'éprouvette est ouverte quand les deux disques A et B sont séparés. C'est alors qu'on y introduit l'animal (souris ou moineau) qu'on veut soumettre à l'expérience. On ferme l'appareil à l'aide des clefs et on place l'éprouvette sur un support. Le robinet E est ouvert, le tube de communication avec la pompe ou avec le récipient qui contient le gaz comprimé est vissé en K. Le récipient est ouvert et envoie dans l'éprouvette le gaz, l'oxygène, par exemple, qui ressort d'abord par le tube F. Quand on pense que l'éprouvette ne

contient plus que de l'oxygène, on adapte le manomètre à l'écrou G qu'on serre fortement et l'on voit monter la pression. Lorsqu'elle a atteint la valeur voulue, ou bien on ferme le robinet E et celui du récipient, ou bien on desserre, avec précaution, l'écrou G, de façon à ce que tout en demeurant à une pression constante, le gaz contenu dans l'éprouvette soit renouvelé sans cesse. D'ailleurs, pour que ce renouvellement s'effectue plus convenablement encore, avant d'établir la communication avec le récipient, j'engage dans le canal du robinet E, un tube de caoutchouc jusqu'à ce que son extrémité inférieure parvienne tout près du fond de l'éprouvette (fig. 15).

Veut-on décompresser le gaz contenu dans l'éprouvette? On serre l'écrou G en même temps qu'on ferme le robinet E, on intercepte la communication entre le récipient et l'orifice supérieur de l'appareil, puis on ouvre le robinet E, complètement si l'on désire déterminer une décompression rapide, incomplètement si l'on veut que la décompression soit lente.

A l'aide de ce dispositif, j'ai pu observer des animaux de petite taille soumis à des pressions supérieures à quinze atmosphères. Dans ce cas, je prenais la précaution d'entourer l'éprouvette d'un manchon de fer présentant des fentes longitudinales diamétralement opposées (fig. 16). Je pouvais ainsi voir ce qui se passait dans l'intérieur sans être exposé aux conséquences d'une explosion, qui, du reste, ne s'est jamais produite.

Je rappelle que si cet appareil a l'avantage de permettre l'observation des animaux pendant qu'ils sont sous pression, il ne permet pas de produire une décompression aussi rapide que le premier.

## CHAPITRE III

### EFFETS DE LA COMPRESSION ET DE LA DÉCOMPRESSION BRUSQUE DANS L'AIR

---

SOMMAIRE : *A. Expériences dans l'air ordinaire. Effets de la compression et de la décompression sur les mammifères et les oiseaux. — B. Substitution du protoxyde d'azote à l'azote de l'air, ses effets mécaniques et toxiques sur les animaux à sang chaud et sur les animaux à sang froid.*

#### A. — Expériences dans l'air ordinaire.

§ 1. *Premières expériences.* — J'ai d'abord exécuté une série d'expériences assez nombreuses avec le récipient, alors qu'il n'était pas encore pourvu de sa soupape. Je les passerai sous silence. Elles représentent une période de tâtonnements où j'arrivais à mal démêler les différentes actions de l'air ordinaire, de l'air suroxygéné et de l'oxygène qui, acheté tout préparé, n'était pas pur.

Les différents phénomènes dus à chacun de ces gaz se sont dégagés plus clairement quand, pour l'étude de l'air comprimé, je pus faire fonctionner la soupape à détente brusque et quand, pour les besoins des recherches dont je parle dans le chapitre V, j'employai l'oxygène préparé au laboratoire.

Dans le présent chapitre je rends compte des résultats que j'ai obtenus en comprimant, à diverses pressions, des animaux de différentes espèces, maintenus à des pressions assez faibles et assez peu durables pour que l'oxygène de l'air n'agisse pas par sa tension. Je ne rends compte que d'un certain nombre d'expériences types choisies parmi d'autres similaires, ne m'étant jamais contenté de vérifier un fait, ni de donner un nombre, après une seule observation, ni une seule mesure.

J'ai cru bon également de ne pas suivre exactement l'ordre chronologique dans lequel j'avais accompli les expériences, mais au contraire, de les classer méthodiquement. C'est ainsi qu'autant que cela m'a été possible j'ai, dans ce travail, disposé les expériences semblables suivant l'ordre zoologique naturel des animaux expérimentés.

### **Expériences sur les mammifères.**

§ 2. — EXP. II. — Un lapin est placé dans le récipient, pendant une heure, à la pression de 5 atmosphères  $1/2$ . Décompression instantanée par le soulèvement de la soupape.

Mort de l'animal en moins d'une minute.

*Autopsie.* — Les vaisseaux sont remplis de gaz libre.

EXP. III. — Lapin porté à 7 atmosphères  $5/8$ , pendant quarante-cinq minutes. Décompression instantanée. L'animal est vivant, mais très malade il est tué par section du bulbe.

*Autopsie.* — Les vaisseaux contiennent du gaz libre.

EXP. IV. — Lapin porté à 4 atmosphères.

Décompression instantanée, après une heure de compression. Mort de l'animal, une minute après la décompression.

*Autopsie.* — Gaz libre dans tout le système vasculaire.

Je rends compte de ces trois expériences, les premières que j'ai pratiquées sur des mammifères, quoique les ayant déjà publiées. J'ai fait alors remarquer que je déterminais ainsi, par des séries semblables, le degré de résistance des espèces différentes, à la décompression brusque.

C'est à 5 atmosphères, après une compression que des expériences ultérieures m'ont prouvé devoir durer quarante-cinq minutes environ, que les lapins meurent de la décompression instantanée.

Dans l'expérience suivante, le lapin est mort dans l'appareil, de la décompression instantanée, au lieu de périr après qu'il avait été retiré du récipient, comme dans les expériences II, III et IV.

EXP. V. — A 10 h. 30, j'enferme un lapin dans le grand récipient. Après y avoir fait passer un courant d'air, pendant cinq minutes, afin d'y renouveler l'air, on y fait monter la pression, en se servant de la pompe Golaz. A 10 h. 40, l'air intérieur est à la pression de 5 atmosphères. A 10 h. 47, la pression est 6 atmosphères. Je maintiens cette dernière jus-

qu'à 11 h. 30. Agitation de l'animal, à 11 h. 25, qui cesse après une minute et demie. A 11 h. 30, j'effectue la décompression brusque. L'animal s'agite fortement, pendant quelques secondes, puis tout bruit ayant cessé, j'ouvre l'appareil à 11 h. 35. L'animal est mort. Les membres sont flasques. Météorisme abdominal assez prononcé.

*Autopsie.* — Les intestins sont très gonflés ainsi que l'estomac. Les pou-



Fig. 17. — Gaz libres dans vaisseaux mésentériques d'un lapin, après une décompression brusque. (Photogravure d'après une préparation naturelle.)

mons sont piquetés de taches rouges. Les vaisseaux mésentériques sont remplis de bulles de gaz. Le sang du cœur est spumeux.

Je fais une préparation d'une anse intestinale et du mésentère de la même région. Je l'étends sur une plaque de liège ajourée au-dessous du mésentère, afin que cette membrane se voie bien par transparence. Le réseau vasculaire apparaît très bien avec sa nappe sanguine coupée de distance en distance par des bulles de gaz, plus ou moins longues, variant depuis moins d'un millimètre jusqu'à près d'un centimètre.

La figure 7 représente cette préparation d'après la photographie que j'ai communiquée à l'Académie des Sciences.

Si le dégagement libre des gaz dans les vaisseaux après la décompression dans l'air n'est pas un fait nouveau, je n'en connais pas de préparation qui ait été reproduite.

Quant à l'expérience elle-même dans laquelle le lapin est mort certainement sous le coup de la décompression brusque, elle fait déjà prévoir, qu'à l'aide de mon appareil, pour peu que le temps de compression préalable soit suffisant, on tuera l'animal à coup sûr, quand on aura déterminé la valeur de la pression représentant son degré de résistance et qu'il sera resté soumis à cette dernière pression le temps nécessaire et suffisant.

Dans ces circonstances, l'oxygène peut n'avoir pas le temps d'agir comme toxique, et *c'est seulement de la décompression brusque que meurt l'animal expérimenté.*

Ces faits vont du reste apparaître plus clairement, dans la suite, et dès les deux expériences qui suivent.

Exp. VI. — Un lapin est placé dans le grand récipient à 10 h. 15. Je renouvelle l'air dans l'appareil, puis je fais monter d'emblée à 4 atmosphères. Pour cela, je mets le récipient en communication avec un cylindre de provision, dans lequel j'ai fait à l'avance comprimer de l'air. A l'aide de la pompe Golaz je fais monter la pression jusqu'à 7 atmosphères. A 10 h. 20, décompression brusque. On ouvre l'appareil, l'animal est à l'état normal.

La compression a duré, dans cette expérience, cinq minutes au plus et, bien qu'elle soit supérieure à celle à laquelle un animal de même espèce a été soumis, dans l'expérience précédente, le sujet a survécu.

Exp. VII. — Le lapin précédent est placé dans les mêmes conditions que dans l'expérience VI, mais il reste sous pression, pendant près d'une heure, de 10 h. 30 à 11 h. 25. Il n'y a pas eu d'agitation.

A 11 h. 25, je commence la décompression, la décompression lente ; pour la réaliser, au lieu d'ouvrir la soupape, j'ouvre faiblement un robinet dont je règle le débit. Pendant la décompression à 11 h. 37, le lapin crie. A 11 h. 40, la décompression est terminée.

A l'ouverture de l'appareil, le lapin est trouvé vivant. A terre il demeure sur place, je le pousse pour le solliciter à marcher, il fait très péniblement un pas, puis s'arrête. Je le pousse de nouveau, même résultat. A 11 h. 45, il est à l'état normal et survit.

Ici la décompression lente a sauvé l'animal. Peut-être même n'aurais-je constaté aucun accident consécutif à la décompression, fait que j'ai observé souvent, si la décompression avait été plus lente. Sans doute aussi, les cris poussés par l'animal à 11 h. 37 étaient un signe de malaises dus à la décompression trop rapide.

EXP. VIII. — Une souris blanche est placée dans l'éprouvette dans laquelle on fait monter la pression à 5 atmosphères. Trois coups de pompe suffisent. L'animal reste à cette pression de 9 heures à 9 h. 20. Il a montré un peu d'inquiétude au début de l'expérience, puis il se calme. A 9 h. 20, décompression en une minute. Aucun résultat.

L'expérience double (IX et X) à laquelle a été soumise une même souris, d'abord dans l'éprouvette, ensuite dans le récipient, est des plus concluantes.

EXP. IX. — Une souris blanche est placée dans l'éprouvette à 10 heures; j'y fais monter la pression jusqu'à 12 atmosphères avec de l'air. L'animal est inquiet, il grimpe le long du caoutchouc qui amène l'air au fond de l'éprouvette; je le force à tomber au bas de l'appareil où il demeure parfaitement tranquille jusqu'à 11 heures. J'ouvre alors largement le robinet, après avoir enlevé le tube de la pompe. La décompression se produit aussi brusque que possible, c'est-à-dire en plus d'une seconde. L'animal s'agite, il se gratte le museau vivement avec les pattes antérieures, il monte alertement le long du tube de caoutchouc. Sorti de l'appareil et placé sous une cloche de verre, il ne tarde pas à manger.

EXP. X. — La souris expérimentée précédemment est placée dans le grand récipient avec un cobaye et un moineau à 1 h. 30. Je fais monter d'emblée la pression à 4 atmosphères, puis j'injecte de l'air à la pompe, jusqu'à ce que la pression s'élève à 5 atmosphères; cette dernière pression est maintenue une heure, mais pendant ce temps l'air du récipient est renouvelé plusieurs fois, sans que la pression varie. A 2 h. 30, décompression instantanée. On ouvre l'appareil immédiatement. La souris et le cobaye sont morts, le moineau a résisté, son état est normal, il n'a eu aucun accident consécutif.

Ainsi la souris a supporté sans aucun malaise une pression de 7 atmotsphères pendant une heure, suivie d'une décompression ayant duré plus d'une seconde, tandis qu'elle a péri des suites d'une compression égalant 5 atmosphères, entretenue également une heure mais suivie d'une décompression instantanée.

Le cochon d'Inde était d'ailleurs dans un cas très analogue. J'avais expérimenté déjà sur des cochons d'Inde, ayant résisté à des épreuves tout à fait équivalentes, comme conditions, à celles de l'expérience X.

Je fais remarquer encore ici que, dans aucun cas, les animaux expérimentés dans l'air comprimé n'ont eu d'accidents convulsifs, ni dans l'appareil ni après leur sortie de l'appareil. Nous verrons au chapitre suivant combien ces accidents, au contraire, sont prompts à survenir dans l'oxygène à haute pression. Il en est de même des accidents de paralysie consécutive à la compression. Quand, après une longue expérience dans l'air comprimé, des animaux sortaient paraplégiques de l'appareil, ils guérissaient toujours; je n'ai certainement pas enregistré plus de deux ou trois morts sur cent à la suite de compression dans l'air, accompagnées d'accidents convulsifs ou de paralysies.

Voici maintenant une série d'expériences pratiquées, sur les chiens, très analogues aux précédentes aussi bien comme conditions que comme résultats.

Exp. XI. — Chien placé dans le récipient à 2 h. 30. On fait monter la pression à 8 atmosphères avec de l'air. Quand cette pression est atteinte, il est 3 heures. La pression 8 atmosphères est assez difficile à maintenir. A 3 h. 35, décompression lente, pendant dix minutes. L'animal ne s'est pas agité au cours de l'expérience. A sa sortie de l'appareil il essaye de marcher, il traîne ses pattes de derrière, il est fortement paraplégique. Ecume à la bouche. Le lendemain, il paraît encore un peu gêné dans les mouvements de l'arrière-train, mais il vient facilement à moi quand je l'appelle. Revenu, par la suite, complètement à l'état normal.

Exp. XII. — Un chien pesant 5 kil. 5 est placé dans le grand récipient à 4 h. 15 minutes. On comprime de l'air à l'aide de la pompe Golaz. 4 heures 25, la pression est de 6 atmosphères, elle est maintenue entre 5 atmosphères  $\frac{1}{2}$  et 6. En effet, l'appareil fuit légèrement, l'air s'y renouvelle donc constamment. 5 heures, l'animal s'agite légèrement. 5 h. 20, décompression instantanée. L'animal crie, agitation faible. 5 h. 24, le récipient est ouvert. L'animal est mourant. Les membres ne sont pas raidis, il meurt sans convulsions à 5 h. 23.

*Autopsie.* — Abdomen météorisé. Estomac fortement distendu par des gaz, les intestins contiennent également beaucoup de gaz. Vaisseaux mésentériques remplis de bulles gazeuses, sang du cœur spumeux. Je recueille une certaine quantité du gaz stomacal.

*Analyse du gaz contenu dans l'estomac :*

|                           |                         |
|---------------------------|-------------------------|
| Volume de gaz recueilli : | 25 centimètres cubes.   |
| Acide carbonique.....     | 1 —                     |
| Oxygène.....              | quantité presque nulle. |
| Azote.....                | 23 cent. cubes 7.       |

En quantité centésimale :

|                       |      |
|-----------------------|------|
| Acide carbonique..... | 4    |
| Oxygène.....          | 1,2  |
| Azote.....            | 94,8 |

EXP. XIII. — Chien placé dans le grand récipient, une heure, à la pression de 4 atmosphères  $1/2$ . Décompression en cinq minutes. L'animal respire péniblement, il marche en vacillant, la tête basse, les yeux hagards. Il va s'appuyer sur le mur, mais se remet en moins d'une heure. Conserve pendant quelques heures encore un peu de tristesse, se refuse à manger un morceau de viande deux heures après. Revient à l'état normal.

EXP. XIV. — Un chien pesant 4 kil. 6 est placé dans l'air comprimé à 6 atmosphères pendant trente minutes. Décompression en quatre minutes. Sort de l'appareil à l'état normal.

EXP. XV. — Un chien est placé dans le récipient pendant vingt-cinq minutes. Pression : 6 atmosphères. Décompression instantanée, l'animal est mort.

EXP. XVI. — Un chien malade (il a un certain nombre d'abcès en pleine suppuration) est à trois reprises introduit dans le récipient. La première fois pendant quinze minutes à 6 atmosphères, la seconde fois pendant trente minutes à 6 atmosphères, la troisième fois pendant quarante-cinq minutes à 7 atmosphères. Il a supporté trois décompressions instantanées. La troisième fois seulement, il sort de l'appareil incommodé, il se couche sur le flanc avec de la dyspnée; mais après une demi-heure, il est revenu à son état initial.

EXP. XVII. — Petit chien porté à 7 atmosphères  $1/2$  dans l'air comprimé. Il y est maintenu quarante-cinq minutes, de 11 h. 10 à 11 h. 55. Décompression instantanée. Agitation immédiate de l'animal dans le récipient, à l'ouverture de l'appareil, le chien est mort. Écume à la bouche. Météorisme; membres flasques.

C'est donc entre six atmosphères et demie et sept que le chien meurt de la décompression instantanée, après une compression préalable de quarante-cinq minutes environ.

### Expériences sur les oiseaux.

§ 3. Exp. XVIII. — Un canard est placé dans le grand récipient à 10 h. 15. Dès qu'on fait monter la pression avec de l'air, l'animal s'agite. A 10 h. 30, la pression est de 2 atmosphères  $1/2$ . Elle est maintenue égale jusqu'à décompression instantanée. L'animal est bien portant.

Exp. XIX. — A 11 h. 15, le même canard que celui de l'expérience précédente est remis dans le grand récipient. 11 h. 18, la pression est de 4 atmosphères. 11 h. 35, même pression, décompression instantanée. L'animal paraît bien portant. A 1 h. 45, il a cessé de se soutenir sur ses pattes, il tombe sur le flanc. Quelques convulsions agoniques, il crie et meurt à 3 h. 15.

*Autopsie.* — Quelques bulles rares dans les vaisseaux mésentériques. Le sang du cœur n'est pas spumeux. Caillots de sang filamenteux le long de la grande scissure du cerveau.

Exp. XX. — Un canard et un jeune moineau sont placés dans le même appareil à 3 h. 40. La pression est de 4 atmosphères à 3 h. 50, de 6 atmosphères à 4 h. 4, elle demeure égale à 6 atmosphères jusqu'à 4 h. 30. Décompression brusque. Le canard est mourant, il meurt moins de deux minutes après sa sortie de l'appareil. Le moineau était mort, dès l'ouverture du récipient.

Exp. XXI. — 4 h. 40. Je place deux jeunes moineaux dans le récipient. 4 h. 50, la pression est de 3 atmosphères  $1/2$ . Décompression brusque. L'un des moineaux est mort; l'autre est bien portant. Ce dernier est attaché par la patte, dans le jardin du laboratoire. Il mange du pain mouillé que lui présente le garçon.

Exp. XXII. — Le moineau qui a survécu est introduit dans l'éprouvette à 5 h. 15. La pression est élevée jusqu'à 10 atmosphères. L'animal est immobile au fond de l'appareil. 5 h. 42, il vomit. 6 heures, décompression aussi brusque que possible. L'oiseau tombe sur le dos, bat des ailes et meurt les ailes étendues et le bec ouvert après quelques convulsions agoniques.

Comme pour les mammifères, dans les expériences conduites comme celles dont je viens de rendre compte, en les prenant parmi les nombreux essais semblables que j'ai tentés, j'attribue la mort des oiseaux à l'action seule de la décompression brusque.

Le canard de l'expérience XIX a survécu quelques heures à la décompression, peut-être n'en serait-il pas mort, s'il n'avait pas eu d'hémorragie cérébrale.

Bien que certains moineaux aient résisté plus que d'autres, il

résulte de l'ensemble de mes expériences que les oiseaux offrent moins de résistance que les mammifères à la décompression brusque.

La moyenne de toutes mes expériences sur différents mammifères et oiseaux, m'a donné, du reste, les chiffres suivants :

| Noms des animaux.     | Durée<br>de la<br>compression. | Pression moyenne,<br>limite<br>de la résistance. |
|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------------------------|
| <i>Chiens</i> .....   | 45 min.                        | 6 atm. 1/2 à 7.                                  |
| <i>Lapins</i> .....   | id.                            | 5 atm. à 5 1/2.                                  |
| <i>Souris</i> .....   | id.                            | 5 à 6 atm.                                       |
| <i>Cobayes</i> .....  | id.                            | 6 atm. à 6 atm. 1/2.                             |
| <i>Canards</i> .....  | id.                            | 4 atm.                                           |
| <i>Moineaux</i> ..... | id.                            | 4 atm. 1/2 à 5.                                  |

### Lésions organiques diverses.

§ 4. *Gaz libres des cavités viscérales.* — Dans un certain nombre d'autopsies, outre la présence du gaz libre contenu dans les vaisseaux sanguins et dans le cœur, j'ai rappelé le gonflement quelquefois énorme de l'estomac et des intestins.

J'ai déjà donné une analyse des gaz contenus dans l'estomac, je la rappelle ici :

|                         |   |                            |          |
|-------------------------|---|----------------------------|----------|
| Volume de gaz analysé : | { | <i>Oxygène</i> .....       | 1,2 0/0. |
| 25 cent. cubes.         | { | <i>Acide carbonique</i> .. | 4 0/0.   |
|                         |   | <i>Azote</i> .....         | 94,8.    |

Les vaisseaux exhalent donc surtout de l'azote dans les viscères quand, à une compression durant une heure au plus dans l'air, succède une décompression brusque.

Quant à l'oxygène, dans ces conditions, il est consommé par les tissus.

§ 5. *Lésions pulmonaires.* — Outre le dégagement du gaz libre dans le sang et dans les intestins on a signalé, et je les ai vus très souvent, des piquetés rouges à la surface et dans l'épaisseur des masses pulmonaires.

Souvent même, au lieu de simples ponctuations, l'apoplexie pulmonaire se traduit par de larges taches de couleur rouge sombre au centre, plus claire à leur périphérie, à bords mal définis où la teinte sanguine se perd dans la masse pulmonaire ressemblant aux éclaboussures d'une tache d'encre.

Mais grâce à la rapidité de la détente obtenue avec la soupape du grand récipient, à l'action violente qui s'en suit, j'ai provoqué souvent un accident dont je donne la description ci-après.

A l'ouverture des cadavres de mammifères morts de décompres-



Fig. 18. — EFFETS DE LA DÉCOMPRESSION BRUSQUE. Poumons d'un lapin présentant des ecchymoses et plusieurs ruptures causées par la décompression brusque de l'air à 7 atmosphères (photographie prise sur une préparation naturelle).

sion brusque, je constatais souvent que le diaphragme présentait une forte saillie dans la cavité abdominale, il était distendu par la pression du gaz au point d'être transparent dans sa région centrale.

Au moment où je le coupais, une forte poussée gazeuse faisait irruption du thorax dans l'abdomen et le diaphragme redevenait flasque, comme dans le cas où ce muscle est coupé, chez les animaux normaux.

En explorant la cavité thoracique, je trouvais le plus souvent des caillots sanguins et, dans ce cas, toujours une et souvent plusieurs plaies sanguinolentes à la surface des poumons.

Les poumons avaient éclaté et dans les lèvres de leurs déchirures

à arêtes vives et radiées des caillots sanguins prouvaient que c'étaient les vaisseaux pulmonaires qui s'étaient rompus, laissant échapper dans le thorax le sang et le gaz qui, en s'en dégageant en masse, avait rempli les cavités pleurales, pressant sur le diaphragme et renversant sa courbure normale pour le faire saillir du thorax dans l'abdomen.

J'ai fait des préparations de poumons ainsi déchirés, par le fait de la décompression brusque, j'en ai pris des photographies et je donne à la figure 48 la reproduction de l'une de ces photographies prises sur les poumons d'un lapin.

L'animal a été comprimé dans l'air pendant une heure (*Expérience XXIV*), puis décomprimé brusquement.

Ces résultats se sont manifestés souvent fortuitement au cours d'expériences où je cherchais à déterminer tout autre accident, je les ai également souvent provoqués.

Ne permettent-ils pas de croire que bien souvent, quand les animaux meurent des suites de la décompression brusque, c'est que des hémorragies internes échappant à l'autopsie se sont produites?

Les hémorragies dans l'encéphale, en particulier, moins importantes que celle dont je parle à l'expérience XXIV, sont pourtant mortelles.

Dans bien des cas, alors, et mon opinion est fondée sur l'expérience, ce n'est pas seulement par embolie due au dégagement subit de l'azote dans le sang que périraient les animaux soumis à la décompression brusque de l'air, mais bien par suite de ruptures vasculaires.

Le traumatisme et le froid subit accompagnant la décompression ne sont pas non plus évidemment sans effet.

§ 6. *Décompression dans les sacs aériens des oiseaux.* — Je me suis demandé si les ruptures vasculaires ne devaient pas se produire aussi dans les sacs aériens des oiseaux, qui sont si vasculaires.

Voici l'expérience que j'ai faite à ce sujet :

Exp. XXV. — Je mets à nu les sacs aériens abdominaux d'un canard, sur une longueur de 3 centimètres. Je referme ensuite imparfaitement l'abdomen en pratiquant des points de suture avec du fil à ligature. Je place le canard ainsi préparé dans le grand récipient, à côté d'un second canard normal. A 2 heures, les animaux sont soumis à la pression de

7 atmosphères, jusqu'à 2 h. 35, il avait fallu 25 minutes pour atteindre cette pression. J'effectue alors la décompression brusque, mais aussitôt j'ouvre un robinet mettant l'intérieur du récipient en communication avec un cylindre contenant de l'air comprimé. La pression remonte à 4 1/2 en quelques secondes. J'ai entendu de l'agitation au moment où j'ai décomprimé, sans pouvoir reconnaître si les deux canards ou bien l'un des deux seulement en étaient auteurs. A 2 h. 55, la pression est remontée à 6 atmosphères 1/2. Décompression lente, durant 20 minutes. A 3 h. 15, l'appareil est ouvert. Le canard opéré est mort. Les sacs aériens abdominaux sont rompus, les points de suture également. L'autre canard est vivant.

Au moment où les gaz se sont épanchés dans les sacs abdominaux des deux canards, ces sacs se sont fortement distendus. Ils ont éclaté chez celui des deux animaux où ils n'ont pas rencontré la résistance de la paroi abdominale qui, chez l'autre, leur a opposé son élasticité. Mais cette dernière force de réaction elle-même doit avoir ses limites et il se pourrait qu'à la suite de pressions beaucoup plus élevées, bien au-dessus de celles que je puis produire avec le récipient dont je me suis servi, la décompression instantanée déterminât la rupture des sacs aériens d'un oiseau non mutilé pour les besoins de la cause. A moins que, et les choses semblent se passer ainsi d'après l'expérience XXV, la paroi abdominale ne revienne sur elle-même, après avoir été dilatée, faisant sortir des sacs aériens une certaine quantité du gaz épanché, jusqu'à ce que l'équilibre s'établisse entre la pression de la paroi abdominale et le gaz des sacs.

## B. — Substitution du protoxyde d'azote à l'azote de l'air.

§ 7. *Aperçu historique.* — Ce n'est que comme auxiliaire et particulièrement pour me servir de son action mécanique plus énergique que celle de l'azote, dans la décompression, que j'ai songé à employer le protoxyde d'azote mêlé à l'oxygène.

Aussi, bien qu'ayant enregistré ses effets toxiques à haute pression, ne m'étant pas attaché tout spécialement à ces effets, n'en ai-je rien dit dans le chapitre I consacré à l'historique de mes recherches.

Sans parler longuement des travaux réalisés dans le passé sur les

effets physiologiques de ce gaz, je ne puis me dispenser pourtant d'en dire quelques mots, ne fût-ce que pour écarter le soupçon qui pourrait peser sur moi, à la lecture de mon travail, d'avoir cru ce gaz sans histoire en physiologie, en n'en parlant qu'à propos des expériences où je l'ai employé.

Le protoxyde d'azote est irrespirable, comme le chloroforme et comme l'éther <sup>1</sup>. Ni le sang, ni les tissus ne l'utilisent <sup>2</sup>. Ce gaz se dissout conformément aux lois de Dalton dans le sang mais sans exercer d'action chimique, il agit donc comme gaz asphyxiant, inerte. D'autre part son pouvoir anesthésiant ne s'exerce que s'il est pur.

« *Le protoxyde pur anesthésie, mais il tue par asphyxie; le protoxyde mélangé ne tue point, mais il n'anesthésie pas.* » (Dastre <sup>3</sup>.)

On ne peut donc employer le gaz pur par inhalation, dans le cas d'opérations chirurgicales un peu longues, aussi ne fut-il longtemps en usage que dans l'art opératoire dentaire où l'insensibilisation peut ne durer que quelques secondes.

Grâce au principe qu'il avait établi : *L'action des gaz sur l'être vivant est réglée par leur tension partielle*, Paul Bert put rendre l'emploi du protoxyde d'azote inoffensif en le faisant administrer non pas pur, mais dans un mélange respirable où ce gaz a la même tension que s'il était pur, en même temps que l'oxygène libre a la tension que ce gaz possède dans l'air.

Ce mélange est constitué comme il suit :

*Protoxyde d'azote : 5 volumes.*

*Oxygène mesuré à la pression atmosphérique : 1 volume.*

*Pression totale du mélange 91 centimètres de mercure supérieure à la pression normale de 1/5.*

Dans ces conditions le mélange devient en même temps respirable et anesthésiant :

Ce serait sortir de mon sujet que de parler ici de certaines critiques et de signaler, par exemple, la difficulté matérielle d'appliquer couramment le protoxyde d'azote dans la pratique chirurgicale. Je dois demeurer sur le domaine de la science physiologique pure où se pose la question : le protoxyde d'azote est-il réellement

1. Jolyet et Blanche, 1873.

2. Hermann, 1864.

3. *Les Anesthésiques*, physiologie et applications chirurgicales, par A. Dastre. Paris, 1890.

un gaz inerte? avec le temps, son action demeure-t-elle absolument nulle sur l'organisme, à la tension qu'il a s'il est pur, à la condition de ne pouvoir pas jouer le rôle de gaz asphyxiant?

La note suivante, que M. le professeur Gréhant a communiquée à la Société de biologie, répond à cette question.

M. le professeur N. Gréhant a récemment <sup>1</sup> étudié l'action du protoxyde d'azote à la pression ordinaire. Voici les résultats auxquels il est parvenu et que je donne en citant le texte littéral de l'auteur :

« Je fais respirer à un chien un mélange de 80 volumes d'hydrogène et de 20 volumes d'oxygène; cinq minutes après, 100 centimètres cubes de sang contenaient 1 centimètre cube d'hydrogène, et une trace d'azote, l'hydrogène avait déplacé l'azote du sang; l'animal respire dans l'air pendant cinq minutes, une seconde prise de sang donne 0 c. c. 2 ou 3 fois moins d'hydrogène et onze minutes après, une troisième prise de sang ne contenait que 0 c. c. ou 8 fois moins d'hydrogène; l'élimination de ce gaz se fait donc rapidement, il est remplacé par de l'azote *qui vient de l'air*.

J'ai composé dans le gazomètre un mélange de protoxyde d'azote et d'oxygène en opérant d'une manière très simple et très exacte : je me suis procuré un récipient de protoxyde d'azote liquéfié de Duflos que j'ai uni directement avec le tube central qui débouche au centre de la surface plane sur laquelle repose la cloche du gazomètre : j'ai introduit rapidement 126 litres de protoxyde d'azote et 33 litres d'oxygène provenant d'un autre gazomètre de 500 litres qui est rempli d'oxygène.

L'analyse du mélange sur le mercure par l'acide pyrogallique concentré et la potasse, et l'absorption du protoxyde d'azote, faite ensuite par l'alcool amylique, m'a donné, sur 100 volumes, 21,5 d'oxygène, 74,5 de protoxyde d'azote et 4 d'azote.

On fait respirer à l'animal ce mélange pendant quinze minutes, on note de l'agitation, des périodes d'apnée, il y a défécation; on prend un premier échantillon de sang qui est noir, ce qui indique une période d'asphyxie, puis on laisse respirer l'animal dans l'air, il devient très calme et on fait successivement, de dix minutes en dix minutes, trois prises de sang dont on extrait les gaz aussi rapi-

1. *Comptes rendus des séances de la Société de biologie*, 10 juin 1893. — *Sur l'absorption par le sang de l'hydrogène et du protoxyde d'azote introduits dans les poumons; élimination de ces gaz*, par M. N. Gréhant.

dement que possible dans le même récipient chauffé à 60 degrés.

Voici les résultats obtenus rapportés à 100 centimètres cubes de sang :

|                        | 1    | 2    | 3    | 4    |
|------------------------|------|------|------|------|
| Volumes de gaz.....    | 79.2 | 49.8 | 48.9 | 56.3 |
| Acide carbonique.....  | 42.8 | 23.4 | 21.6 | 28.1 |
| Oxygène.....           | 7.8  | 22.1 | 22.9 | 26.2 |
| Azote.....             | 2.1  | 2.1  | 2.1  | 1.9  |
| Protoxyde d'azote..... | 26.4 | 2.1  | 0.4  | 0    |

Il est bon de remarquer que la présence, dans 100 centimètres cubes de sang, de 26 c. c. 4 de protoxyde d'azote ne produit pas l'insensibilité cornéenne, ce qui est tout à fait d'accord avec les faits si bien établis par Paul Bert. Le protoxyde d'azote mélangé avec  $1/5$  d'oxygène ne devient anesthésique que sous une pression dépassant de 18 centimètres de mercure la pression atmosphérique.

J'ai démontré qu'au bout de trente minutes il ne reste plus dans le sang la moindre trace du protoxyde d'azote qui avait été absorbé. »

Il est d'autres travaux sur l'action physiologique du protoxyde d'azote et que je passe sous silence, parce que je le répète, ils n'offrent pas d'intérêt assez direct dans le cas très spécial où j'ai employé ce gaz.

§ 8. — J'ai pensé que le protoxyde d'azote ayant un coefficient de solubilité cinquante-deux fois plus grand que celui de l'azote à 15° (M. Bunsen), il se dégagerait en plus grande masse et produirait des effets bien plus considérables que l'azote si, substitué artificiellement à celui-ci dans l'air, on faisait respirer sous haute pression à des animaux un mélange d'oxygène et de protoxyde d'azote et qu'on effectuât ensuite la décompression brusque.

Les résultats en ce sens ont été affirmatifs dès la première expérience.

Exp. XXVI. — Je forme d'abord dans un gazomètre un mélange titré de 79 parties de gaz protoxyde d'azote et de 21 parties d'oxygène.

Un chien est ensuite enfermé dans le grand récipient. A l'aide de la pompe je fais passer pendant cinq minutes un courant du mélange gazeux dans l'appareil. La pression monte à 5 atmosphères, elle est maintenue pendant vingt minutes. J'effectue alors la décompression brusque ; on ouvre l'appareil, le chien est mort. Météorisme énorme et généralisé. La percussion produit sur tous les points du tronc une résonance de tambourin.

*Autopsie.* — Le tissu cellulaire sous-cutané est rempli de gaz. L'estomac et les intestins sont extrêmement distendus. Les vaisseaux mésentériques contiennent un nombre de bulles de gaz plus considérables et plus longues que dans les cas de l'azote.

Je signale en passant l'intérêt démonstratif tout particulier de cette expérience, si l'on veut montrer en public l'effet produit par le dégagement de gaz libre, au moment de la décompression.

Exp. XXVII. — Afin de mieux suivre les différentes phases de cette expérience, je place une souris grise dans l'éprouvette à décompression. A 4 heures j'injecte dans l'appareil le mélange d'oxygène et de protoxyde d'azote, au même titre que dans l'expérience précédente. La pression monte à 5 atmosphères. En moins d'une demi-minute, l'animal s'endort après quelque agitation. Ses mouvements respiratoires se ralentissent, ils sont arrêtés à 4 h. 15. Je recueille un certain volume de gaz contenu dans le récipient, sans laisser tomber la pression. Décompression brusque à 4 h. 20 La souris est morte. Le météorisme se développe immédiatement, il atteint le maximum en une seconde environ. L'animal ressemble à un boudin, à peine si les extrémités font saillie.

A sa sortie de l'éprouvette, je jette la souris dans un cristalliseur contenant de l'eau, elle flotte. Je place l'animal sous un entonnoir à gaz s'ouvrant dans une éprouvette à mercure, pendant que je le maintiens au-dessous du niveau libre du liquide, je fends la peau de son ventre, quelques bulles de gaz se rendent en haut de l'éprouvette. Le gaz recueilli rallume une allumette ne présentant plus qu'un point en ignition. Il est donc composé d'une proportion notable de gaz comburant. Ce gaz est surtout du protoxyde d'azote, et c'est bien ce dernier qui cause l'énorme météorisme, remplaçant ici, avec plus d'énergie, l'azote des expériences antérieures.

Exp. XXVIII. — 8 h. 30, un moineau est placé dans l'éprouvette, on y fait pénétrer le mélange gazeux, la pression monte à 10 atmosphères. Immédiatement se manifestent de très vives agitations; puis des convulsions très nettes. 8 h. 33, le moineau est en anesthésie. 8 h. 36, arrêts des mouvements respiratoires. 8 h. 40, décompression lente durant 10 minutes. Au cours de la décompression, faibles convulsions, se manifestant par un frémissement général. Météorisme assez accentué après la décompression. Convulsions très fortes qui durent 5 minutes. A 8 h. 45, le moineau est mort.

Exp. XXIX. — Même expérience que la précédente sur un second moineau. Durée de la compression : 10 minutes (de 9 heures à 9 h. 10). Je fais monter la pression à 10 atmosphères et la décompression dure 20 minutes. L'oiseau est mort, il n'a eu de convulsions, ni au cours de la compression, ni pendant la décompression.

Dans cette expérience, la mort de l'oiseau doit être due à l'action prolongée du protoxyde d'azote, agissant comme un anesthésique à haute tension, tout comme dans l'expérience XXXI.

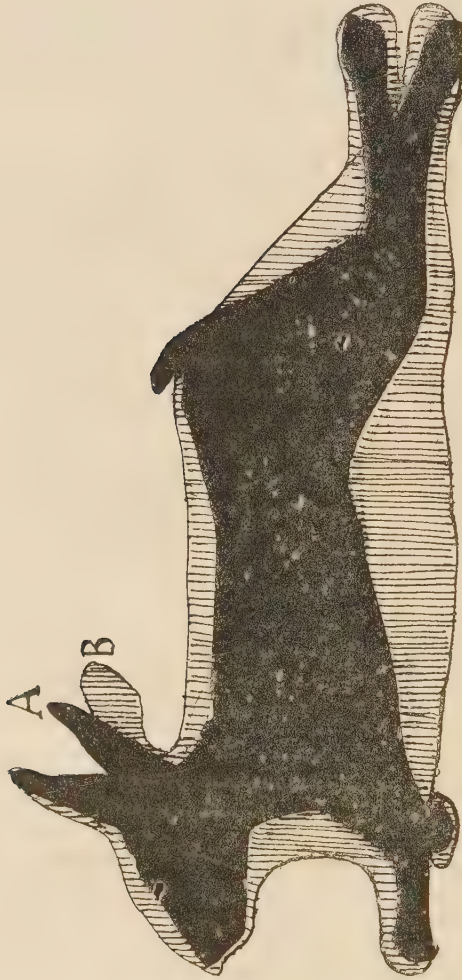


Fig. 19. — EFFETS DE LA DÉCOMPRESSION BRUSQUE. — A, silhouette d'un lapin avant et pendant la compression dans un mélange de 21 parties d'oxygène pur et de 79 parties de protoxyde d'azote. — B, silhouette du même animal, après la décompression.

Exp. XXX. — Un lapin est photographié avant d'être introduit dans le grand récipient. Il est soumis à des conditions identiques à celles de l'expérience XXVI. Il est photographié à sa sortie de l'appareil. La figure montre l'animal avant et après l'expérience, d'après les photographies que j'en ai prises.

Exp. XXXI. — Un chardonneret est placé dans l'éprouvette à 3 heures. Injection du mélange gazeux; la pression monte à 5 atmosphères. L'oiseau s'endort après avoir battu convulsivement des ailes, avoir vomi et déféqué. A 3 h. 5, les mouvements respiratoires ont beaucoup diminué. La décompression dure 15 minutes. Quand elle est terminée l'animal présente du météorisme. Avant qu'on ait le temps d'ouvrir l'appareil, l'oiseau a de fortes convulsions et meurt.

Exp. XXXII. — 9 heures. Une grenouille est introduite dans l'éprouvette. Injection du mélange gazeux. Pression 10 atmosphères. Les mou-



Fig. 20. — EFFETS DE LA DÉCOMPRESSION BRUSQUE. — A, grenouille avant et pendant la décompression dans un mélange de 21 parties d'oxygène et 79 parties de protoxyde d'azote. — B, la même grenouille après la décompression.

vements respiratoires se ralentissent et s'arrêtent assez vite. 9 h. 15, anesthésie très manifeste. Décompression brusque. Énorme météorisme se développant très rapidement. A l'autopsie, je constate que les poumons sont rompus. Le cœur bat faiblement.

Exp. XXXIII. — Mêmes conditions que précédemment, l'animal expérimenté est encore une grenouille. Pression 10 atmosphères. Convulsions violentes, puis arrêt des mouvements respiratoires quand la pression approche de 5 atmosphères. Durée de la compression 10 minutes, de 9 h. 35 à 9 h. 45. La décompression dure 20 minutes. A la pression

8 atmosphères, faibles mouvements convulsifs des quatre membres. A 10 h. 5, l'appareil est ouvert, très faible météorisme. On ne distingue pas, à travers les parois thoraciques, si le cœur bat ou ne bat pas. L'animal paraît mort. Conservée sous une cloche humide, la grenouille n'est pas ranimée le lendemain. Le cœur ne bat plus.

Exp. XXXIV. — Une grenouille est placée dans l'éprouvette. Pression du mélange 5 atmosphères. Durée de la compression 5 minutes (de 9 h. 5 à 9 h. 10). L'animal est immobile, les mouvements respiratoires ont cessé. Décompression en une seconde. Le météorisme se produit. J'injecte de l'air pur par la pompe, aussitôt le météorisme diminue, puis disparaît presque complètement; en dévissant l'écrou du manomètre le gaz sort lentement de l'appareil, le météorisme augmente à mesure que la pression diminue. A un nouveau coup de pompe correspond une nouvelle diminution dans le volume de l'animal. Le même effet se produit aussi souvent que je reproduis les mêmes alternances de décompression et de compression. Je maintiens la pression à 5 atmosphères, la grenouille a son volume normal. A 9 h. 30, décompression lente, durant plus de 20 minutes. Le météorisme est nul, la grenouille est vivante, mais très mal portante, elle n'exécute de mouvements que si on l'y force. Mouvements respiratoires très raréfiés. Elle est mise sous une cloche humide, le lendemain le cœur ne bat plus, elle est morte.

Dans cette expérience encore l'animal a dû mourir sous l'influence du gaz anesthésiant. Mais là n'est pas le point qui a le plus fixé mon attention. Quand j'ai employé le protoxyde d'azote en remplacement de l'azote, c'était dans le but de rendre plus évident le dégagement des gaz libres lors de la décompression brusque, et si je ne devais pas laisser néanmoins passer avec indifférence les phénomènes dus à l'action certainement toxique du protoxyde d'azote, sous tension élevée, la production exagérée du météorisme était, lui, la réponse que j'attendais de mes expériences.

La dernière expérience me paraît singulièrement intéressante et démonstrative pour montrer à un auditoire comment le gaz, retenu par le sang seulement à l'état de dissolution, se comporte lorsque la pression à laquelle est soumis l'animal augmente ou diminue.

Ce fait une fois bien établi, je ne dois pas, ai-je dit, garder le silence sur les accidents graves résultant de l'inhalation du protoxyde d'azote à haute pression.

Le travail de M. Gréhan, sur les effets de ce gaz à la pression ordinaire, faisait déjà prévoir, qu'administré à dose condensée par les voies respiratoires, il devait produire de graves accidents.

*A fortiori*, si le protoxyde d'azote est respiré sous tension, est-il dangereux.

Il suffit de jeter un coup d'œil sur le résumé des expériences dont je viens de rendre compte, pour se convaincre que le protoxyde d'azote provoque des accidents rapidement mortels, quand il est respiré à haute pression.

| Animaux expérimentés.                  | Durée de la compression et de la décompression | Valeur de la pression. | Accidents mortels et durée de ces accidents.                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Chien</i> .....<br>Exp. XXVI.       | 20 min.<br>déc. instant.                       | 5 atm.                 | Mort en moins de 20 minutes sous pression.                                                                                                                                                                        |
| <i>Souris</i> .....<br>Exp. XXVII.     | 20 min.<br>décomp. inst.                       | 5 atm.                 | Morte en moins de 15 minutes sous pression. 2 minutes d'agitation, suivies de sommeil anesthésique. Arrêts de la respiration après 15 minutes.                                                                    |
| <i>Moineau</i> .....<br>Exp. XXVIII.   | 10 min.<br>déc. en 20 min.                     | 10 atm.                | Vives agitations. Sommeil anesthésique au bout de 3 minutes. Arrêts des mouvements respiratoires, 3 minutes après. Décompression lente après 10 min. de compression. Convulsions très fortes pendant 5 min. Mort. |
| <i>Chardonneret</i> ...<br>Exp. XXXI.  | 5 min.<br>déc. en 15 min.                      | 5 atm.                 | Battement des ailes. Vomissements. Sommeil après 2 min., diminution des mouvements respiratoires après 5 min. Mort avec de fortes convulsions pendant la décompression.                                           |
| <i>Grenouille</i> .....<br>Exp. XXXII. | 10 min.<br>déc. en 20 min.                     | 4 atm.                 | Violentes convulsions. Arrêt des mouvements respiratoires. Anesthésie. Convulsions pendant la décompression. Mort survenue, pendant la décompression.                                                             |

§ 9. *Conclusions du chapitre.* — La conclusion première de ce chapitre, nous en avons énoncé la formule déjà.

C'est qu'à des pressions relativement peu élevées dans le grand récipient, j'ai obtenu des effets plus puissants dus à la décompression brusque presque instantanée. Ces conclusions seront consignées et mieux en place tout à fait à la fin de ce travail.

Quant à celles qui découlent de la substitution du protoxyde d'azote à l'azote, dans l'air comprimé, elles sont de deux ordres :

1° Celles qui sont relatives à l'action mécanique de ce gaz, dans le phénomène de la décompression brusque, bien courtes à énoncer.

*Le protoxyde d'azote étant plus soluble que l'azote, se dissout en plus grande quantité dans le sang pour des pressions égales, et lorsque se produit la décompression brusque il cause un météorisme bien plus considérable de l'animal qui l'a respiré.*

2° Celles des conclusions qui sont relatives à l'action anesthésique et toxique du gaz protoxyde d'azote sont évidentes dans le tableau de la page précédente.

*Le protoxyde d'azote à haute pression est un anesthésique puissant, agissant comme toxique, déterminant des convulsions qui précèdent le sommeil qu'il cause, et rapidement mortel.*

*Il arrête les mouvements respiratoires, la mort est précédée également de convulsions généralisées.*

## CHAPITRE IV

### ACTION DE L'OXYGÈNE RESPIRÉ A HAUTE PRESSION

---

SOMMAIRE : *Influence de la pureté de l'oxygène. — Expériences sur les animaux à sang chaud et sur les animaux à sang froid.*

§ 1. *Influence de la pureté de l'oxygène.* — Je rappelle ce que j'ai dit au début du chapitre II, dans le § 3.

L'addition de la large soupape au grand récipient m'a permis d'étudier, à des pressions relativement basses, les seuls effets mécaniques de l'azote rendu libre par suite d'une décompression très brusque.

L'emploi de l'oxygène pur va faire assister aux seuls accidents dus à l'action de ce gaz respiré à haute pression.

Sans rapporter ici, non plus que pour l'action de l'air comprimé, toutes les expériences préliminaires à la suite desquelles j'ai employé toujours l'oxygène préparé par mes soins au laboratoire, j'en donnerai pourtant deux d'entre celles qui ont été exécutées avec de l'oxygène acheté tout préparé parce qu'elles démontrent bien par comparaison, avec les autres, l'importance du degré de pureté du gaz employé.

Ajoutons, dès le début, qu'il résulte de l'ensemble de toutes les expériences réalisées avec l'oxygène comprimé, que quand ce gaz est pur, la vitesse de la décompression est sans la moindre importance, au moins dans la limite des pressions que j'ai produites.

Redoutant cependant des accidents de traumatisme causés par la rentrée brusque du gaz, j'ai, par mesure de précaution, évité souvent la décompression brusque ou plus souvent encore fait

l'expérience en double, l'une suivie de la décompression brusque, l'autre de la décompression lente. Mais dans le champ de mes expériences, cette précaution n'est certainement pas indispensable.

Exp. XXXV. — Un chien pesant 6 kil. 2 est placé à 4 h. 5 dans le grand récipient. Je projette dans l'appareil de l'oxygène acheté tout préparé. A 4 h. 10, la pression est de 5 atmosphères; à 4 h. 13, de 5 atm. 1/4, premières agitations, aboiements; 4 h. 13, l'animal est calmé, la pression est 6 atmosphères. Je n'entends plus rien jusqu'à 4 h. 25, la pression est alors de 7 atmosphères, pression maintenue jusqu'à la fin de l'expérience. Convulsions plus tranchées que les premières, le bruit des ongles qui frottent sur le récipient est rythmé. Je renouvelle l'oxygène contenu dans le récipient, tout en maintenant la même pression. A 4 h. 55, décompression brusque. L'animal est dans un état fort piteux. Il râle sur le flanc, ses pattes sont raidies, opisthotonos assez prononcé. Mouvements respiratoires amples et fréquents. Il a déféqué dans l'appareil. Il se rétablit pourtant lentement. A 5 h. 10, agitations, il fait des efforts pour se relever, tourne les yeux du côté où on l'appelle, mais il ne peut encore se dresser sur les pattes. A 5 h. 20, il marche. Paraplégie, il traîne ses pattes postérieures jusqu'à 6 heures. Alors il commence à s'en servir, mais sans les mouvoir pourtant autrement que pour en pousser le sol en le grattant, comme dans la locomotion du saut. A 6 h. 15, il est revenu à l'état normal.

Exp. XXXVI. — Je fais l'analyse du gaz employé et celle du même gaz quand il était parvenu dans le récipient.

|                               | Gaz du sac. | Gaz du récipient.     |
|-------------------------------|-------------|-----------------------|
| <i>Acide carbonique</i> ..... | 0 0/0.      | très faible quantité. |
| <i>Oxygène</i> .....          | 90,25 0/0.  | 89 0/0.               |
| <i>Azote</i> .....            | 9,75 0/0.   | 10 0/0.               |

L'oxygène employé dans toutes les expériences suivantes était préparé au laboratoire. J'ai répété avec le gaz ainsi préparé un très grand nombre de fois l'analyse comparative, ainsi que je l'ai pratiquée ci-dessus pour l'oxygène fabriqué commercialement, bien que je ne donne pas des analyses de gaz après chacune de mes expériences.

Exp. XXXVII. — Un chien pesant 5 kil. 3 est introduit dans le grand récipient. De 2 h. 50 à 3 heures on fait passer un courant d'oxygène préparé au laboratoire. A 3 heures, la pression monte d'emblée à 6 atmosphères. A 3 h. 5, premières agitations convulsives. Je fais monter la pression à 6 atm. 1/4 à l'aide de la pompe, toujours avec de l'oxygène. 3 h. 8, nouvelles convulsions plus fortes. Aboiements suivis de plaintes. De 3 h. 20 à 3 h. 24, convulsions plus continues. A partir de 3 h. 30, n'ayant plus

perçu de mouvements, je décomprime jusqu'à 3 h. 37. L'animal est mort, il est en état de rigidité cadavérique. Opisthotonos prononcé. Le chien est vraisemblablement mort à 3 h. 30. Je ne trouve rien de particulier à l'autopsie.

*Analyse du gaz dans le récipient avant la décompression :*

|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| <i>Oxygène</i> .....          | 90,74 0/0. |
| <i>Acide carbonique</i> ..... | 1,23 0/0.  |
| <i>Azote</i> .....            | 8,03 0/0.  |

Cette analyse ne donnait pas encore des résultats satisfaisants, l'azote ne provenait pas d'une défectuosité dans le mode de préparation du gaz oxygène, mais plutôt de la pompe qui fut envoyée à l'examen du constructeur.

Exp. XXXVIII. — Animal expérimenté : un chien. Pression, 6 atmosphères. Durée de la compression 15 minutes.

*Analyse du gaz dans le récipient :*

|                               |           |
|-------------------------------|-----------|
| <i>Oxygène</i> .....          | 96,4 0/0. |
| <i>Acide carbonique</i> ..... | 1,1 0/0.  |
| <i>Azote</i> .....            | 2,5 0/0.  |

Exp. XXXIX. — Un lapin est introduit dans le récipient à 3 h. 10. On y introduit de l'oxygène pur (98 p. 100 d'oxygène). 3 h. 20, la pression est 4 atmosphères, à 3 h. 30 elle est égale à 5 atmosphères. On maintient cette dernière pression jusqu'à la fin de l'expérience. 3 h. 43, cris prolongés. 3 h. 45, fortes convulsions. 3 h. 50, convulsions plus faibles que les précédentes et puis je n'entends plus rien. Je recueille du gaz provenant du récipient pour l'analyser. Décompression brusque. L'animal est mort, opisthotonos, rigidité cadavérique.

*Analyse du gaz recueilli dans le récipient :*

|                               |           |
|-------------------------------|-----------|
| <i>Oxygène</i> .....          | 92,4 0/0. |
| <i>Acide carbonique</i> ..... | 2,13 0/0. |
| <i>Azote</i> .....            | 5,47 0/0. |

L'animal est probablement mort après les dernières convulsions, c'est-à-dire quarante minutes après le commencement de la compression.

Exp. XL. — 4 h. 25, un second lapin est placé dans le récipient. Pression d'oxygène pur obtenue d'emblée : 4 atmosphères. Je la fais monter par la pompe à 5 atmosphères, il est 4 h. 32. A 4 h. 45, premières convulsions assez fortes sans cris. A 4 h. 52, nouvelles convulsions cessant à 4 h. 54. A 5 heures, décompression en 3 minutes. L'animal est mort. Opisthotonos, raideur des membres.

Dans l'avant-dernière expérience, l'animal a mis plus de temps à mourir que dans la suivante. Il est, en effet, resté moins longtemps soumis à la pression supérieure, puisque j'ai fait monter la pression à l'aide de la pompe, au lieu de l'établir immédiatement à la hauteur déjà élevée de 4 atmosphères.

§ 2. — *Autres expériences sur les mammifères.*

Exp. XLI. — 2 heures. Une souris est placée dans l'éprouvette. Un courant d'oxygène pur passe d'abord pendant quelques minutes. Injection d'oxygène pur. Pression immédiatement obtenue : 5 atmosphères. Agitation de l'animal; il grimpe le long du tube en caoutchouc engagé dans le canal du robinet. 2 h. 7, accélération des mouvements respiratoires qui sont en même temps amples.

La souris se gratte vivement le museau avec ses pattes antérieures. 2 h. 12, premières convulsions. Mouvements respiratoires plus rares et pénibles. L'animal ouvre la bouche, tend le cou, comme pour mieux respirer. 2 h. 18, mouvements convulsifs et rotatoires très rapides. Dyspnée croissante. 2 h. 23, arrêt des mouvements respiratoires. 2 h. 30, décompression brusque. L'animal est mort. Les accidents précurseurs de la mort ont duré vingt-trois minutes.

Exp. XLII. — Souris blanche placée dans l'oxygène pur à 10 atmosphères à 10 h. 15. La période d'anxiété dure un peu plus d'une minute. Mouvements respiratoires amples et accélérés, puis dyspnée croissante. Fortes convulsions et tournoiement de 10 h. 21 à 10 h. 23. Arrêt des mouvements respiratoires entre 10 h. 24 et 10 h. 25. 10 h. 30, décompression en une minute. L'animal est mort en moins d'un quart d'heure.

Exp. XLIII. — Souris blanche soumise à des conditions d'expérience identiques à celles de l'expérience précédente. Décompression lente aussitôt que les mouvements respiratoires se sont ralentis. L'animal est mort.

Exp. XLIV. — 10 h. 40. Une souris blanche est placée dans l'oxygène pur à 2 atmosphères de pression pendant un quart d'heure. L'animal va et vient, grimpe le long du caoutchouc plongeant dans l'appareil, se gratte de temps en temps le museau, paraît plutôt ennuyé qu'incommodé. Les mouvements respiratoires s'accélèrent sensiblement. À 10 h. 54, quelques mouvements convulsifs. De 10 h. 55 à 11 h. 5, dyspnée et agitation anxieuse, mouvements assez libres. Pas de tournoiement. Ralentissement des mouvements respiratoires. 11 h. 25, les mouvements respiratoires cessent. J'attends quinze minutes avant d'ouvrir l'éprouvette, mais un courant d'oxygène passe continuellement. J'arrête la pompe, la pression descend et la décompression lente dure dix minutes. 11 h. 25, j'ouvre l'éprouvette, l'animal est mort, il a péri en moins d'une heure.

Exp. XLV. — Mêmes conditions d'expérience pour une autre souris. Durée de la compression quarante minutes. Décompression brusque. Même résultat.

Il résulte des expériences précédentes effectuées sur des souris blanches, qu'à partir de la pression de 2 atmosphères, l'oxygène pur peut causer la mort de ces animaux.

La mort survient d'autant plus tardivement que la pression est plus faible.

Le processus des phénomènes convulsifs et celui de la variation du rythme respiratoire présentent une harmonie à peu près constante, dans toutes ces expériences.

Pendant le premier tiers du temps que l'animal respire l'oxygène comprimé, il est anxieux, s'agite, et ses mouvements respiratoires s'accélèrent.

A cette première période en succède une seconde à peu près égale en durée, pendant laquelle le sujet a des convulsions et de la dyspnée croissante.

Puis survient une troisième période qui se termine par la mort, à peu près égale aussi en temps, à chacune des précédentes. C'est la période de convulsions plus fortes avec du tournoiement à peu près constant, les mouvements de la respiration se ralentissent et cessent.

Moins la pression est élevée, et l'action d'une haute pression moins durable et plus la mort est longue à survenir. En d'autres termes :

*La durée et l'intensité des accidents sont en raison inverse de la durée et de l'intensité de la pression.*

EXP. XLVI. — Une seule fois j'ai soumis dans l'éprouvette une souris à la pression de 15 atmosphères, dans l'oxygène pur. La mort est survenue après un temps très court, en moins de six minutes. Les convulsions ont presque aussitôt apparues, il y a eu du tournoiement, puis l'animal est très vite tombé dans l'immobilité.

Mais j'avoue que, dans cette expérience, mes observations manquent de précision absolue. Le souvenir de l'accident de l'expérience I m'avait fait prendre la précaution d'enfermer l'éprouvette dans son étui protecteur en fer, ce qui m'empêchait de bien voir l'animal, malgré les deux longues fenêtres pratiquées dans les parois du manchon. Ce dont je suis certain, c'est que dans ces conditions, la souris est morte bien plus rapidement que celles des expériences précédentes et qu'aussi, les accidents mortels se sont succédé de plus près.

Au contraire, quand j'ai placé des souris dans l'oxygène pur, à

des pressions inférieures à 2 atmosphères, à une atmosphère  $1/2$  (Expérience XLVII), à 1 atmosphère  $3/4$  (Expérience XLVIII), j'ai vainement prolongé ce séjour deux et trois heures, les animaux n'ont pas paru s'inquiéter autrement de la nature normale du gaz qu'ils respiraient. Ils paraissaient seulement inquiets d'être enfermés, d'où une certaine agitation résultant sans doute plus de leur état moral que de leur état physique.

Il serait certes intéressant, surtout après les travaux du docteur Quinquaud et de M. le docteur de Saint-Martin sur l'inhalation du gaz oxygène à la pression ordinaire, de savoir si en prolongeant longtemps le séjour des animaux à sang chaud dans l'oxygène légèrement comprimé, les animaux mourraient ou vivraient.

Si je n'ai pas poussé mes recherches dans cette direction, c'est que d'une part je n'étais pas outillé pour cela, et que d'autre part, j'en avais circonscrit le champ dans des limites bien déterminées.

§ 3. *Résumé schématique des précédentes expériences.* — La figure 21 est une représentation graphique des phénomènes observés sur les souris blanches soumises dans l'oxygène à des pressions variant de 1 pression atmosphérique  $1/2$  à 15 atmosphères. Je ne lui attribue pas une valeur rigoureusement mathématique, je la propose seulement comme un schéma, permettant de se rendre compte facilement des faits que j'ai observés.

Sur la ligne OX est compté le temps, sur la ligne OY sont indiquées les pressions.

AA<sub>3</sub> représente le temps qu'a mis la souris de l'expérience XLIV à mourir sous une pression de 2 atmosphères d'oxygène, temps qui égale : *quarante-cinq minutes*.

BB<sub>3</sub>, le temps qu'une souris de même espèce a employé pour mourir dans l'oxygène comprimé à 5 atmosphères, soit *vingt-trois minutes* (expérience XLI).

CC<sub>3</sub>, le temps pour qu'une souris meure dans l'oxygène comprimé à 10 atmosphères, soit *quatorze minutes* (XLII).

DD<sub>3</sub>, le temps très approché pour la mort d'une souris à 15 atmosphères, *cinq minutes*.

La ligne A<sub>3</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub>D<sub>3</sub> est le lieu géométrique des points représentant aux diverses pressions le moment où la mort des animaux est survenue. Entre B<sub>3</sub> et C<sub>3</sub>, cette ligne est droite. Sa direction par rapport aux axes montre que plus la pression est élevée, plus la



Fig. 21. — REPRÉSENTATION SCHÉMATIQUE DE LA MORT DES SOURIS DANS L'OXYGÈNE COMPRIMÉ. — OY, axe sur lequel on compte les pressions; OX, axe sur lequel on compte les temps; — OA = 2 atm., OB = 5 atm., OC = 10 atm., OD = 15 atm.; — AA<sub>3</sub> = 45 min., BB<sub>3</sub> = 23 min., CC<sub>3</sub> = 14 min., DD<sub>3</sub> = 5 min.; — A<sub>3</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub>D<sub>3</sub>, lieu géométrique représentant, aux diverses pressions, le temps au bout duquel la mort des animaux est survenue. La direction par rapport aux axes montre que plus la pression est élevée, plus la mort survient vite et que le phénomène est continu entre 5 et 15 atmosphères. Au-dessus de 15 atmosphères, cette ligne devient asymptote à OY; la mort tend, en effet, à devenir foudroyante. Au-dessous de 2 atmosphères, au contraire, elle devient asymptote à la droite Y = 1, ce qui est d'accord avec les expériences, puisque lorsque la pression tend vers la pression normale qui égale 1, la vie tend à rester normale.

mort survient vite. Au-dessus de 15 atmosphères la ligne en question tend à se rapprocher de l'axe OY, la mort, en effet, tend à devenir foudroyante. Au-dessous de 2 atmosphères, au contraire, elle deviendrait parallèle à l'axe OX, ce qui est bien d'accord avec la réponse des expériences, puisqu'à basse pression les animaux ont une tendance à résister à la mort.

Entre 5 et 15 atmosphères, le phénomène est continu.

Divisons chacune des lignes  $AA_3, BB_3, CC_3, DD_3$  en trois parties égales : chaque segment représentera le temps d'une des trois périodes en lesquelles se divisent également chaque cycle entier d'une expérience.

Les 2 lignes A,B,C,D, et  $A_2B_2C_2D_2$  divisent l'aire comprise entre la ligne  $A_3B_3C_3D_3$  et les axes en trois régions, pouvant figurer : la première, comprise entre l'axe OY et la ligne A,B,C,D, la *première phase* pendant laquelle l'animal montre de l'inquiétude, puis respire déjà plus vite et plus amplement.

La *deuxième phase* comprise entre la ligne A,B,C,D, et la ligne  $A_2B_2C_2D_2$  est celle de la dyspnée et des premières convulsions.

La *troisième phase* représentée par la surface limitée par la ligne  $A_2B_2C_2D_2$  et la ligne  $A_3B_3C_3D_3$  figure la dernière période avec les accidents signalés : dyspnée croissante, grandes convulsions, convulsions rotatoires, arrêt des mouvements respiratoires, mort.

#### § 4. — *Expériences sur les oiseaux.*

Exp. XLVII. — 3 heures. Canard placé dans le grand récipient. Pression maxima. 6 atmosphères. A 3 h. 5, fortes convulsions. 3 h. 8, nouvelles convulsions. Quand elles ont cessé (3 h. 10), décompression brusque. L'animal est mourant. Opisthotonos très marqué, le bec largement ouvert est vertical. Quelques convulsions agoniques. — Mort.

Exp. XLVIII. — Un canard est placé dans le grand récipient pendant quinze minutes. La pression est 5 d'emblée, on la fait monter à 7. L'animal est maintenu cinq minutes sous cette dernière pression. Convulsions dans l'appareil. Décompression brusque. Le canard est mort.

Exp. XLIX. — 10 h. 10. Moineau dans l'éprouvette à la pression de 7 atmosphères d'emblée. On fait ensuite monter la pression à l'aide de la pompe, jusqu'à 10 atmosphères. En moins d'un quart d'heure, les accidents observés sur les souris dans les expériences XLI à XLIV s'accomplissent, dans le même ordre de succession. 10 h. 15, l'animal est immobile. 10 h. 22, décompression lente terminée à 10 h. 27. Le moineau est mort en moins de dix minutes.

Exp. L. — Exp. LI. — Exp. LII. — Mêmes conditions que dans les expériences XLVII, XLVIII et XLIX, mais en substituant la décompression lente à la décompression brusque. Résultats identiques.

J'ai obtenu des résultats très semblables en opérant sur plusieurs moineaux, sur des bruants, des pinsons, des canaries et des charbonnerets. Placés dans des conditions de pression variant de 2 à 12 atmosphères, ils mouraient après avoir eu des convulsions, de la dyspnée puis de l'apnée, très souvent des convulsions rotatoires et dans un temps variant entre dix minutes et cinq minutes. Quelquefois, les convulsions agoniques ont fait défaut, les animaux semblaient s'endormir et souvent le tournoisement qui m'a paru un phénomène sans récédive, ne s'est pas manifesté.

### § 5. — *Expériences sur les animaux à sang froid.*

Exp. L. — Un cyprin est placé dans de l'eau ayant préalablement bouilli et remplissant la moitié de l'éprouvette à compression. Je fais passer d'abord un courant d'oxygène pur dans l'eau, puis je comprime le gaz, jusqu'à obtenir une pression de 10 atmosphères. Après deux heures, l'état de l'animal ne présentant rien de particulier que des troubles d'équilibre connus, j'effectue la décompression brusque. Le poisson se remet à nager normalement.

Exp. LI. — Couleuvre soumise à l'action de l'oxygène comprimé pendant plusieurs heures. Décompression brusque. Aucun résultat.

Exp. LII. — Vendredi à 9 h. du matin, j'introduis dans le grandréipient 2 cyprins, 2 anguilles, 2 grenouilles et 2 dytiques. L'appareil est fermé, on y fait passer, pendant un quart d'heure, un courant d'oxygène pur, puis on fait monter la pression à 7 atmosphères  $\frac{1}{2}$  avec de l'oxygène pur. Le lendemain à 10 heures du matin, la pression est descendue à 6  $\frac{3}{4}$ . Le gaz est renouvelé sans qu'on laisse tomber la pression qui est ramenée à 7 atm.  $\frac{1}{2}$  comme la veille. Le dimanche matin à 11 heures, même opération, la pression était descendue à 6 atm.  $\frac{1}{2}$ . Le lundi matin à 9 heures et le mardi, les mêmes opérations sont renouvelées. A 2 heures de l'après-midi, décompression lente durant quinze minutes. Je trouve :

Les 2 poissons morts, dont l'un hors du cristalliseur; une grenouille presque morte, l'autre mourante, la couleuvre morte, les 2 anguilles mortes, 1 dytique mort, l'autre absolument normal.

La grenouille survivante est morte dans la nuit du mardi au mercredi; quant au dytique trouvé vivant, il a survécu.

C'est, outre les deux précédentes, les seules expériences que j'ai faites avec l'oxygène comprimé sur les animaux à sang froid. L'action prolongée de ce gaz ne paraît pas leur convenir mieux qu'aux animaux à sang chaud, bien qu'ils lui opposent une résistance plus grande.

§ 6. — Telles sont les conséquences de l'inhalation de l'oxygène comprimé, que j'ai constatées à l'aide des appareils décrits au chapitre II.

Les effets de l'oxygène pur sont les mêmes que ceux de l'oxygène à haute tension dans l'air suroxygéné, mais l'action du gaz comburant de l'air est bien plus intense quand il est pur que quand il est mêlé. Bien que ce résultat fût à prévoir, je crois qu'il n'était pas dépourvu d'intérêt de le prouver expérimentalement.

De plus en employant l'oxygène, à l'état de pureté, les accidents qui amènent la mort se manifestent plus clairement dans la régularité de leur apparition et dans la constance de leur évolution.

§ 7. *Différence entre l'action de l'air comprimé et l'action de l'oxygène comprimé pur.* — Il me semble encore intéressant, avant de terminer ce chapitre, d'insister une dernière fois sur la différence d'action entre l'air et l'oxygène comprimés.

Il résulte de mes expériences que si l'oxygène est mêlé à l'azote dans les proportions où il se trouve dans l'air, même à haute pression, le gaz comburant n'exerce pas aussi rapidement ses effets néfastes. Dans l'air comprimé entre 2 et 8 atmosphères, les animaux sont calmes, au moins pendant plus d'une heure. Jamais ils n'ont de convulsions sous pression.

Au voisinage de la pression de 8 atmosphères, quand le temps de la compression augmente au delà de 50 à 60 minutes, après une décompression lente, les mammifères et les oiseaux ont parfois des accidents convulsifs, des paralysies localisées, de la paraplégie, par exemple, mais bientôt ces accidents disparaissent, et les sujets retournent à l'état normal. L'action de l'oxygène n'intervient donc que si l'air étant suroxygéné, on le fait respirer encore à haute pression; bien entendu, dans les limites de pression et de temps où j'ai expérimenté.

A la suite d'une décompression brusque de l'air comprimé ordinaire, on trouve du gaz libre, de l'azote presque pur, dans les

cavités splanchniques, tandis que l'oxygène ne devient jamais libre, par le fait d'une décompression brusque; il demeure fixé dans le sang et dans les tissus.

Dans le chapitre consacré à l'action de l'oxygène comprimé je n'ai pas parlé des autopsies qui ont été pourtant pratiquées avec soin et ne m'ont pas fourni de renseignements nouveaux, si ce n'est qu'après l'emploi de l'oxygène pur, je n'ai jamais été mis en présence d'hémorragies internes. J'ai constaté l'état de ramollissement que présente parfois la moelle, dans les régions inférieures, ce qui explique les troubles de la locomotion se montrant surtout dans les membres inférieurs, mais pas d'engouement pulmonaire, ni, à plus forte raison, de ruptures de ces organes.

Le tableau suivant met en parallèle des résultats que j'ai obtenus dans des expériences comparatives faites les unes avec l'oxygène, les autres avec l'air comprimé. Il ne fait, du reste, que montrer mieux aux yeux les résultats que je viens d'exposer dans le présent paragraphe.

Dans ce tableau, j'appelle  $t$  le temps qu'a duré la compression. Pour les animaux expérimentés dans l'éprouvette, c'est le temps total de la pression maxima, tandis que pour les gros animaux placés dans le récipient, le temps de la compression se divise en deux : 1<sup>o</sup> celui qu'on a employé à pomper et qui a souvent une durée de plusieurs minutes par unité de pression acquise; 2<sup>o</sup> celui pendant lequel les animaux sont restés soumis à la pression maxima.

$h$  est la pression maxima qu'a supportée l'animal.

Enfin j'ai cru intéressant de représenter par  $\theta$ , la tension de l'oxygène telle que la calcule Paul Bert dans ces expériences, en multipliant la pression maxima obtenue dans l'appareil par la proportion centésimale de l'oxygène dans le mélange. J'ai donné ce nombre parce que, dans le cas où l'on emploie l'oxygène pur, il montre à quelle tension élevée se trouve ce gaz. Dans le calcul de la tension de l'oxygène pur j'ai supposé que le gaz employé contenait seulement 98 0/0 d'oxygène, c'est à peu près la moyenne des analyses dans mes expériences.

*Expérience XI (page 59).*

Chien,  $t = 65$  min.;  
 $h = 8$  atm.;  
 $\theta = 168$ .  
Décompression lente.  
Survivance.

---

*Expérience XII (page 59).*

Chien,  $t = 60$  min.;  
 $h = 6$  atm.;  
 $\theta = 126$ .  
Décompression brusque.  
Mort.

---

*Expérience VII (page 57).*

Lapin,  $t = 55$  min.;  
 $h = 5$  atm.;  
 $\theta = 105$ .  
Décompression lente.  
Survivance.

---

*Expérience VI (page 57).*

Lapin,  $t = 8$  min.;  
 $h = 7$  atm.;  
 $\theta = 147$ .  
Décompression brusque.  
Survivance.

---

*Expérience X (page 58).*

Souris,  $t = 60$  min.;  
 $h = 5$  atm.;  
 $\theta = 105$ .  
Décompression brusque.  
Mort.

---

*Expérience IX (page 58).*

Souris,  $t = 60$  min.;  
 $h = 12$  atm.;  
 $\theta = 262$ .  
Décompression lente.  
Survivance.

---

*Expérience XVIII (page 61).*

Canard,  $t = 15$  min.;  
 $h = 2$  atm.  $1/2$ ;  
 $\theta = 52,5$ .  
Décompression brusque.  
Survivance.

---

*Expérience XXXVI (page 76).*

Chien,  $t = 15$  min.;  
 $h = 6$  atm.;  
 $\theta = 588$ .

---

Mort.

---

*Expérience XXXIX (page 77).*

Lapin,  $t = 27$  min.;  
 $h = 5$  atm.;  
 $\theta = 490$ .

---

Mort.

---

*Expérience XLI (page 78).*

Souris,  $t = 23$  min.;  
 $h = 5$  atm.;  
 $\theta = 490$ .

---

Mort.

---

*Expérience XLII (page 78).*

Souris,  $t = 45$  min.;  
 $h = 10$  atm.;  
 $\theta = 980$ .

---

Mort.

---

*Expérience XLIV (page 78).*

Souris,  $t = 40$  min.;  
 $h = 2$  atm.;  
 $\theta = 196$ .  
Mort.

---

*Expérience XLVII (page 82).*

Canard,  $t = 10$  min.;  
 $h = 6$  atm.;  
 $\theta = 588$ .

---

Mort.

*Expérience XX* (page 61).  
Canard,  $t = 40$  min.;  
 $h = 6$  atm.;  
 $\theta = 126$ .  
Décompression brusque.  
Mort.

*Expérience XXII* (page 61).  
Moineau,  $t = 45$  min.;  
 $h = 10$  atm.;  
 $\theta = 210$ .  
Décompression brusque.  
Mort.

*Expérience XLVIII* (page 82).  
Canard,  $t = 15$  min.;  
 $h = 7$  atm.;  
 $\theta = 686$ .  
Mort.

*Expérience XLIX* (page 82).  
Moineau,  $t = 10$  min.;  
 $h = 6$  atm.;  
 $\theta = 588$ .  
Mort.

Il résulte des nombres fournis par l'examen de ce tableau que la mort par décompression brusque après compression préalable dans l'air est bien due, dans mes expériences, à l'action mécanique de l'azote et que l'action de l'oxygène, sous tension, n'est intervenue que dans les expériences XI et XII sur les chiens.

En effet, c'est au-dessous de 1 atmosphère  $1/2$  que, dans l'oxygène pur, nous ne constatons plus les accidents convulsifs. A cette pression la tension de l'oxygène pur est de 150. Dans le cas de l'air comprimé je n'ai jamais eu d'animaux soumis à cette tension, parmi ceux dont il est fait mention dans le tableau ci-dessus que les deux chiens des exp. XI et XII. Or ces animaux ont eu des convulsions pendant qu'ils étaient sous pression. Le premier décomprimé lentement est sorti paraplégique de l'appareil et le second qui a été soumis à l'épreuve de la décompression brusque a laissé seulement percevoir les accidents mortels dus à l'action des gaz libérés dans le sang, dans ces conditions d'expérience.

§ 8. *Conclusions.* — Les conclusions de ce chapitre sont conformes à celles de Paul Bert, mais je suis arrivé à ces conclusions par des moyens d'expérience différents qui m'ont permis de séparer plus constamment l'action propre à l'oxygène de l'action due à l'azote, en employant le premier gaz pur et en ne laissant agir le second sous pression qu'un temps assez court et à des pressions assez faibles pour que l'oxygène condensé n'agisse pas en même temps.

Ces conclusions je les formule en empruntant, pour les 2 premières, à l'éminent maître les termes mêmes qu'il a employés, mais en ne citant de ses conclusions que ce qu'elles ont de commun avec le cadre dans lequel j'ai volontairement circonscrit mes recherches.

1° L'oxygène pur comprimé se comporte comme un poison mortel, pour les animaux à sang chaud, dès que sa pression approche de 2 atmosphères.

2° Il est également mortel pour les animaux à sang froid, mais à la condition qu'il agisse pendant plus longtemps sur ces animaux que sur les animaux à sang chaud.

3° La mort dans l'oxygène comprimé est précédée par des convulsions que Paul Bert considère comme consécutives à l'empoisonnement et suivant l'intensité de ces convulsions, ajoute le même auteur, elles présentent les divers types du tétanos, de l'épilepsie, de l'intoxication par la strychnine, par l'acide phénique, etc.

J'ajouterai encore aux formules précédentes.

4° Les accidents, causés par l'oxygène comprimé, ne sont réellement bien évidents que dans l'oxygène pur. Ils sont d'autant plus rapides et plus réguliers dans leur succession, que ce gaz est plus pur et qu'il est respiré à pression plus élevée.

## CHAPITRE V

### TOXICITÉ DE L'OXYGÈNE COMPRIMÉ

---

SOMMAIRE : *Injection sous-cutanée de sucs fournis par le sang et les muscles d'animaux morts dans l'oxygène comprimé. — Action probable de la potasse. — Toxines douteuses.*

§ 1. — Puisque l'oxygène à haute pression agit comme un poison violent, engendre-t-il des toxines dans les tissus des animaux soumis à son action ?

Par les moyens que j'ai employés, je n'ai réussi qu'à recueillir des indications de deux natures.

A. — La première, c'est que si j'ai provoqué souvent des convulsions chez des grenouilles sur lesquelles j'ai pratiqué des injections sous-cutanées de suc musculaire provenant d'animaux ayant subi l'action de l'oxygène comprimé, les résultats obtenus n'ont pas eu toute la constance désirable.

B. — La seconde indication m'a conduit à la conclusion que, s'il y a des produits toxiques se développant dans les tissus des animaux ayant respiré de l'oxygène comprimé, ces substances ou plutôt les effets de ces substances sont facilement détruits.

Ces conclusions deviendront plus claires après que j'aurai rendu compte des expériences me permettant de les appuyer d'arguments motivés.

#### A. — Recherche de produits toxiques dans les tissus après l'action de l'oxygène comprimé.

§ 2. — *Préparation d'extraits sanguins pour injections sous-cutanées.*

Je ne cite dans certaines expériences que seulement les essais

de sucs provenant d'animaux comprimés. Cependant j'avais au préalable essayé des sucs des mêmes organes, provenant d'animaux à l'état normal.

Dans ce dernier cas je n'ai eu que des résultats douteux ou négatifs.

EXP. LIII type. — Je place d'abord une canule à robinet, dans la veine jugulaire d'un chien, puis l'animal est placé dans le grand récipient où l'on injecte de l'oxygène jusqu'à obtenir 6 à 8 atmosphères de pression, la pression mortelle. Après la décompression brusque pratiquée à la suite de plusieurs crises de convulsions, l'appareil est ouvert et je recueille une certaine quantité de sang, qui est défibriné. Je le mêle avec son poids d'alcool ordinaire. Le liquide ainsi obtenu n'est employé que le lendemain. Je le filtre alors, puis il est placé au bain-marie à la température de 40°. Quand l'alcool est évaporé, le résidu suffisamment sec est dissous dans 5 centimètres cubes d'eau distillée et filtrée.

C'est ce dernier liquide que j'injecte sous la peau des grenouilles à l'aide de la seringue de Pravaz.

Je n'ai obtenu aucun résultat avec l'extrait provenant du sang de mammifères, même en prenant la précaution d'effectuer la distillation dans le vide à température moindre.

### § 3. — *Préparation de l'extrait musculaire.*

EXP. LIV. — La préparation du suc musculaire est identique à la précédente. Le muscle est haché, macère vingt-quatre heures dans son propre poids d'alcool. Le liquide de la macération est d'abord recueilli, puis j'y ajoute le suc provenant du muscle fortement pressé. Après évaporation de l'alcool, soit au bain-marie, soit dans le vide, le résidu obtenu est traité et employé, comme le résidu définitif provenant du sang.

Chaque injection est pratiquée sous la peau du dos de la grenouille, elle est égale au contenu total de la seringue de Pravaz, c'est-à-dire à 4 centimètre cube.

C'est avec l'extrait musculaire que j'ai obtenu seulement quelques résultats positifs consignés dans les expériences suivantes.

J'ai également essayé des préparations de sucs semblables préparés avec la substance nerveuse de l'encéphale et particulièrement du bulbe, mais dans ce cas encore les résultats ont été nuls.

Je ne relaterai donc que l'essai du suc musculaire.

EXP. LV. — Une première injection d'extrait musculaire est pratiquée sous la peau de deux grenouilles (a) et (b). Les deux animaux s'agitent

pendant deux minutes environ, puis deviennent tranquilles. Au bout de cinq minutes, la grenouille (a) a des convulsions assez fortes des membres inférieurs et de la paraplégie. Un quart d'heure après la première injection (4 heures), j'en pratique une seconde sur les deux grenouilles. L'animal (b) s'agite de nouveau, se dresse convulsivement debout, puis retombe lourdement. 4 h. 10, les deux grenouilles ont des convulsions. Je les place sur le dos, elles demeurent dans cette position sans bouger, le cœur bat. Je les place sous une cloche humide où le lendemain je les trouve mortes, dans la position même où je les ai laissées la veille.

Exp. LVI. — Une grenouille reçoit, de 10 minutes en 10 minutes, par trois fois, une injection de suc musculaire provenant d'un lapin mort dans l'oxygène comprimé. Elle n'a de convulsions qu'au bout d'une demi-heure. Elle me semble morte deux heures après la première injection. A l'autopsie, je constate que le cœur bat très faiblement. Le nerf sciatique a conservé son excitabilité.

Exp. LVII. — Suc extrait des muscles d'un chien mort par l'oxygène comprimé. Deux injections sont pratiquées à une grenouille. Convulsions pendant une heure. Puis immobilité d'une demi-heure. L'animal revient à la santé.

Exp. LVIII. — Suc musculaire de lapin mort dans l'oxygène comprimé, trois injections administrées à deux grenouilles. L'une des grenouilles meurt sans convulsions, l'autre n'a que des périodes de courte agitation, après chaque injection.

Exp. LIX. — Une grenouille reçoit trois injections en une heure, de suc musculaire provenant d'un canard mort dans l'oxygène comprimé. Pas de convulsions. Deux heures après la première injection, l'animal est décoloré, ses membres sont flasques, le cœur bat. Trouvée morte le lendemain.

Exp. LX. — Deux grenouilles reçoivent chacune trois injections d'extrait musculaire provenant d'un chien mort dans l'oxygène comprimé. L'une d'elles survit, l'autre a quelques convulsions quinze minutes après la troisième injection. Une demi-heure après, elle est immobile, après avoir eu de la paraplégie. Le cœur bat. Le lendemain, elle est trouvée morte.

Exp. LXI. — Deux grenouilles reçoivent à 3 h. 40 chacune une injection de suc musculaire d'un lapin mort dans l'oxygène comprimé. Agitation. 2 h. 20, deuxième injection à chaque animal; l'une d'elles reçoit de suite une troisième injection. Agitation nouvelle. Paraplégie inférieure de la grenouille qui a reçu trois injections, puis convulsions assez faibles pour les deux animaux, diminuant jusqu'à 4 heures. Guérison.

Les phénomènes convulsifs sont donc certainement transmis aux grenouilles par ce mode d'expérimentation, mais il est bien évident

que la toxine développée dans les tissus des animaux morts comprimés dans l'oxygène, si toxine il y a, n'aurait pas, à la dose où j'ai pu la faire naître, les terribles effets qu'on attribue aux substances sœurs.

J'ai dit plus haut que j'avais essayé comparativement le suc musculaire d'animaux tués à l'état de santé et aussi celui d'animaux comprimés dans l'air, à des pressions élevées, et ayant été maintenus sous pression. Je n'ai dans ces cas qu'exceptionnellement obtenu des phénomènes convulsifs, en opérant comme je l'avais fait, avec les extraits provenant de muscles d'animaux morts dans l'oxygène à haute pression. Parfois la grenouille expérimentée a eu quelques contractions violentes des membres, mais elle n'est jamais morte.

Ces recherches donneraient peut-être des résultats plus positifs si elles étaient effectuées avec l'aide d'appareils compresseurs plus puissants. Toutefois il me semble que quelques indications intéressantes résultent des expériences précédentes.

*Les muscles des animaux morts dans l'oxygène comprimé contiennent des produits nocifs qui, s'ils existent dans les muscles à l'état normal, y sont en moindre quantité.*

Une objection pourrait surgir encore et elle a une certaine valeur. Les grenouilles mortes après avoir reçu le suc extrait des muscles, ne sont-elles pas victimes de l'action de la potasse?

J'ai en effet réalisé une série d'expériences dans lesquelles, après évaporation tantôt au bain-marie, tantôt dans le vide de l'alcool dans lequel avait macéré le muscle, je versais sur ce résidu quelques gouttes d'alcool absolu. J'évaporais de nouveau. J'obtenais ainsi un produit privé de sels de potasse qui, injecté sous la peau de grenouilles, n'a jamais déterminé de convulsions (*Expérience LXII*).

## **B. — Destruction des produits toxiques dus à l'oxygène comprimé, par l'action de l'air comprimé.**

§ 4. — C'est un fait bien connu que, pour combattre les suites fâcheuses de la décompression rapide, il faut respirer de l'oxygène.

Les deux expériences suivantes mettent bien en évidence cette vérité.

Exp. LXIII. — Un lapin est placé dans l'air comprimé à la pression de 6 atmosphères  $1/2$  pendant cinquante minutes. Décompression instantanée.

née. Aussitôt j'injecte de l'oxygène pur et je fais remonter en comprimant ce gaz la pression à 6 atmosphères. Je laisse l'oxygène agir pendant vingt minutes et j'effectue de nouveau la décompression brusque. L'animal est bien portant.

Isolée, cette expérience ne prouverait rien, mais répétée un certain nombre de fois avec succès, on est en droit de ne pas douter de l'effet de l'oxygène dans ces circonstances.

Exp. LXIV. — Une souris est placée dans l'éprouvette. On y fait monter la pression à 10 atmosphères avec de l'air, puis je décomprime brusquement. De l'oxygène est substitué à l'air, de façon à ce que la pression remonte à 10 atmosphères. L'animal, tombé sur le flanc au moment de la décompression, se redresse aussitôt. Après un moment j'effectue de nouveau la décompression. L'animal est bien portant et survit sans accident.

Ces effets vérifiés, j'ai eu l'idée de renverser l'opération, d'effectuer, si je puis m'exprimer ainsi, l'expérience réciproque, en injectant de l'air à haute pression, dans un appareil où un animal avait souffert sous l'action prolongée de l'oxygène comprimé. En opérant ainsi, j'ai mis à jour un fait quelque peu inattendu.

Voici les expériences réalisées, dans ces conditions, et leur résultat.

Exp. LXV. — Sont placés dans le grand récipient : 1<sup>o</sup> un lapin ; 2<sup>o</sup> un cobaye ; 3<sup>o</sup> un pinson. (3 h. 55.) Je fais monter d'emblée la pression à 4 atmosphères en employant de l'oxygène pur. J'injecte en suite de l'air jusqu'à ce que la pression monte à 8 atmosphères.

La composition du gaz contenu dans le récipient est donc la suivante :

|              |        |
|--------------|--------|
| Azote.....   | 43 0/0 |
| Oxygène..... | 57 0/0 |

La tension de l'oxygène est de  $57 \times 7 = 399$ , soit 400 en chiffre rond.

3 h. 46, agitation, convulsions.

4 h. 5, convulsions plus franches.

J'ouvre le robinet, mais en même temps que le gaz s'échappe du récipient j'introduis de l'air, à l'aide de la pompe. A 4 h. 15, agitation nouvelle. A 4 h. 30, la pression est tombée à 5 atmosphères, certainement le gaz du récipient n'est plus que de l'air atmosphérique, la décompression lente continue jusqu'à 4 h. 45. J'ouvre l'appareil et je trouve le cobaye à l'état normal, le lapin est dans un état de malaise très appréciable, l'oiseau paraît normal, mais il est pris de convulsions rapidement mortelles à 5 h. 15. Les deux rongeurs survivent.

Sans être concluants, les résultats de cette première expérience m'encourageaient à pousser mes recherches dans la voie où je m'engageais.

Exp. LXVI. — A 5 heures, un pinson est introduit dans l'éprouvette. 5 h. 5, la pression étant de 6 atmosphères, l'animal s'agite. Il ouvre le bec, dyspnée. 5 h. 15, agitations plus fortes. 5 h. 20, l'animal tombe sur le flanc, grandes convulsions, ralentissement des mouvements respiratoires, qui s'arrêtent. Décompression brusque, injection d'air qui fait remonter la pression à 6 atmosphères. L'animal se redresse sur ses pattes, dès qu'il reçoit le premier jet de gaz atmosphérique. 5 h. 23, décompression lente terminée à 5 h. 30, opisthotonos. Mis sous une cloche en observation, il place sa tête sous l'aile gauche et s'endort. 6 heures, il se réveille et a une crise de convulsions assez forte. 6 h. 5, il est debout de nouveau et se rendort, jusqu'à 6 h. 30. Je le remets dans sa cage et je le pose sur un perchoir, il s'y tient et s'endort dans la même attitude que sous la cloche. Le lendemain, l'opisthotonos est encore assez accentué, mais le surlendemain il a disparu presque complètement et l'oiseau est définitivement revenu dans son état normal.

Exp. LXVII. — Un canard est placé, à 3 h. 40, dans le grand récipient sous pression d'oxygène pur égale à 7 atm. En réalité la pression reste flottante entre 6 1/2 et 7 atmosphères parce que le récipient fuit légèrement. 4 h. 8, décompression instantanée. J'ouvre l'appareil. L'oiseau est couché sur le flanc, il a de très fortes convulsions, son état est très voisin de la mort. Je referme vivement le récipient et j'y fais remonter la pression à 7 atmosphères avec de l'air. Je laisse les choses en cet état pendant 10 minutes, puis la décompression lente s'accomplit en 20 minutes. 4 h. 45, l'animal est retiré du récipient, opisthotonos marqué, il ne peut encore se tenir sur les pattes; ses ailes sont pendantes tout en battant, il cherche à se dresser, sans y réussir. Après cet effort, dyspnée très accentuée, l'opisthotonos diminue. 4 h. 50, il tente de nouveaux efforts pour se mettre debout, n'y réussit que pour un très court instant pendant lequel sa tête tombe lourdement d'arrière en avant, le bec vient violemment choquer le sol, c'est ainsi qu'il marche. A chaque pas, nouvelle chute de la tête. Quand il s'arrête, les ailes sont pendantes. 5 heures, il veut marcher de nouveau, mêmes accidents, je remarque qu'il se dirige toujours de droite à gauche. A chaque déplacement d'une patte, la tête retombe en avant, le bec cogne la surface du sol, puis elle se relève en opisthotonos, pour retomber, au pas suivant. Cet état demeurant stationnaire, je le place sur l'eau à 5 h. 30, il nage en tournant toujours sur sa gauche, vainement je cherche à le détourner en sens inverse, les mouvements d'oscillation de la tête sont les mêmes que pendant la marche, seulement comme le bec ne rencontre plus la résistance du sol, la tête plonge complètement dans l'eau. Replacé sur le sol ferme, je l'observe encore jusqu'à 6 heures. A 6 h. 30, l'opisthotonos a diminué encore, il

marche un peu plus facilement, mais l'animal tend le cou, ouvre le bec pour crier, il est aphone. Il se dirige toujours de droite à gauche. Il nage sans oscillation anormale de la tête, mais quand il rencontre la margelle du bassin, c'est toujours sur sa gauche qu'il tourne. Remis dans le poulailler à 6 h. 50. Le lendemain, les ailes sont encore pendantes, la marche est normale. Il nage facilement dans tous les sens. Il est toujours aphone. Le surlendemain, les ailes pendent moins, la voix est faible et sifflante. Le troisième jour, les ailes sont moins pendantes, la voix n'a pas encore son timbre habituel. Le quatrième jour, quoique les ailes pendent légèrement encore, on peut considérer l'oiseau comme bien portant et je cesse de l'observer.

EXP. LXVIII. — Un moineau est soumis aux mêmes conditions d'expériences que le pinson de l'expérience LXVI. A sa sortie de l'appareil, il a à plusieurs reprises des convulsions. L'opisthotonos a diminué au courant de la journée de l'expérience, mais il en a toujours conservé quelque peu, dans la suite, avec une déviation de la tête à gauche.

EXP. LXIX. — Je place une souris dans l'éprouvette à 10 h. 30. Je fais monter la pression à 10 atmosphères avec de l'oxygène. 10 h. 35, après de l'agitation, les mouvements respiratoires augmentent d'amplitude. 10 h. 45, convulsions, mouvements respiratoires de plus en plus espacés. 10 h. 47, décompression brusque, substitution immédiate d'air à la pression 10. L'animal se redresse aussitôt, mais il reste calme. 10 h. 50, décompression jusqu'à 11 h. 5. Sortie de l'appareil, la souris est bien portante et survit sans accidents nouveaux.

Autant de fois j'ai recommencé les expériences ci-dessus décrites, autant de fois, avec des variétés de détails seulement, j'ai obtenu les mêmes résultats favorables.

La substitution de l'air comprimé à l'oxygène pur ranimait les animaux mourants et cela presque instantanément. Toujours ils ont survécu, je n'ai pas eu plus de dix morts sur une soixantaine d'expériences. Souvent, à la sortie du récipient à compression, après l'action de l'air comprimé, j'ai assisté à plusieurs crises de convulsions. Plusieurs fois, des oiseaux, comme ceux de l'expérience LXV, ont conservé de l'opisthotonos et une déviation de la région cervicale, tandis que plus souvent les autres animaux sont revenus à l'état normal ou à l'état presque normal, dès le lendemain de la double épreuve de compression et de décompression.

§ 5. *Conclusions du chapitre V.* — Comment agit l'air dans les conditions expérimentales où nous venons de l'employer ?

Peut-on admettre, qu'introduit par les canaux respiratoires dans

l'organisme, il agisse comme le contrepoison des toxines qu'aurait engendrées l'oxygène à haute tension? Non.

Est-ce que le système périphérique impressionnable à l'air qui est l'excitant physiologique des mouvements respiratoires, ne reçoit plus cette excitabilité de la part de l'oxygène s'il n'est pas mêlé d'azote? L'oxygène pur, dans ce cas, agirait sur le bulbe, à l'inverse de l'air.

Nous avons constaté, en effet, l'arrêt constant des mouvements respiratoires, après des troubles constants de ces mouvements, chez les animaux respirant dans l'oxygène comprimé.

Mais les convulsions cloniques et toniques qu'ont les animaux soumis à l'action de l'oxygène à haute tension, les convulsions transmises aux grenouilles sous la peau desquelles on injecte des extraits musculaires provenant d'animaux morts dans l'oxygène pur à haute tension, nous ramènent à l'hypothèse de toxiques formés dans les tissus. Produits auxquels je crois difficilement.

En effet, ou bien ces produits toxiques se forment en très petite quantité, ou bien encore ils se détruisent très rapidement, puisque la substitution de l'air à l'oxygène, quand on ménage la transition dans les pressions, suffit à en faire disparaître les funestes effets.

## CHAPITRE VI

### CONCLUSIONS

1° Les appareils décrits dans le chapitre II permettent de réaliser facilement les expériences sur la compression et la décompression, que Paul Bert avait faites au moyen d'appareils plus coûteux et plus compliqués.

2° C'est ce que démontrent les expériences du chapitre III dans lequel j'ai montré que la mort, dans la décompression brusque de l'air comprimé, était bien due à la présence de l'azote devenant libre dans les vaisseaux.

3° L'appareil que j'emploie, pour déterminer la décompression brusque, permet d'effectuer une décompression comparable à celle qui se produit, dans le cas de l'explosion des appareils servant aux expériences de compression. Aussi, ai-je provoqué la mort d'animaux que Paul Bert n'avait pas réussi à tuer toujours, bien qu'il les ait soumis à des pressions plus élevées, parce que, dans les expériences de Paul Bert, la décompression qui suivait la compression était toujours relativement lente.

La décompression instantanée provoque des accidents beaucoup plus graves et beaucoup plus nets, que la décompression brusque durant quelques secondes.

Non seulement on trouve du gaz libre dans les vaisseaux, après une décompression instantanée, mais il peut y avoir rupture de vaisseaux et, particulièrement, ruptures des vaisseaux pulmonaires entraînant parfois l'éclatement consécutif des poumons eux-mêmes.

4° J'exagère les effets de l'azote libre dans les vaisseaux, à la suite de la décompression, en lui substituant le protoxyde d'azote à l'azote, c'est-à-dire en faisant respirer, sous pression, un mélange de 21 parties d'oxygène et 79 parties de protoxyde d'azote.

Dans ce dernier cas, au moment de la décompression, le pro-

toxyde d'azote qui devient libre étant en grande masse, l'animal est fortement météorisé.

Si alors on le soumet de nouveau à une pression élevée, son corps reprend son volume primitif.

Je considère cette expérience comme très démonstrative, devant un auditoire.

5° Le protoxyde d'azote devient très toxique quand il est comprimé.

6° Il y a une très grande différence entre l'action de l'air suroxygéné et celle de l'oxygène pur, pendant la compression. La tension de l'oxygène pur étant presque cinq fois celle de l'oxygène de l'air, à la même pression; d'où l'intérêt d'opérer avec de l'oxygène pur, comme je le fais, dans les expériences de compression décrites au chapitre IV.

7° Dans l'oxygène pur, les animaux à sang chaud meurent rapidement.

La mort d'une souris, dans l'oxygène pur à 4 atmosphères, survient en vingt minutes environ, précédée d'une période de convulsions violentes et se répétant assez régulièrement.

8° Cet état convulsif rappelle bien la mort des animaux empoisonnés par la strychnine, ou par l'acide phénique.

9° Y a-t-il pourtant formation de toxines, par suite de l'action de l'oxygène comprimé?

L'extrait musculaire d'animaux morts dans l'oxygène comprimé, injecté sous la peau de grenouilles, détermine presque toujours chez celles-ci des convulsions souvent mortelles.

L'extrait musculaire d'animaux tués à l'état de santé, ne produit pas les mêmes effets.

En faisant disparaître la potasse du suc employé pour les injections, ce suc ne détermine plus d'accidents convulsifs.

10° S'il y avait formation de produits toxiques ceux-ci seraient bien peu stables, et seraient en bien petite quantité, puisqu'il suffit de soumettre à l'action de l'air comprimé, des animaux mourant dans l'oxygène comprimé, pour qu'ils reviennent aussitôt et définitivement à la santé.

Cette dernière conclusion résultant de mes expériences éloigne de l'hypothèse consistant à considérer l'oxygène comprimé comme un véritable toxique.

# DEUXIÈME THÈSE

---

## PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

BOTANIQUE. — Action de la compression et de la dépression sur la croissance des végétaux.

GÉOLOGIE. — Généralités sur les terrains jurassiques d'Europe, etc.

Vu et approuvé, Paris, le 13 décembre 1893.

*Le Doyen de la Faculté des Sciences,*

G. DARBOUX.

Vu et permis d'imprimer, le 13 décembre 1893,

*Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris,*

GRÉARD.





---

COULOMMIERS. — IMPRIMERIE PAUL BRODARD.

---